

**Vergleich der Schlachtkörperzusammensetzung zwischen Ebern, Kastraten  
und Immunokastraten mittels Magnetresonanztomographie und  
Dualenergie–Röntgenabsorptiometrie**

von Franz Gossenreiter

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Vergleich der Schlachtkörperzusammensetzung zwischen Ebern, Kastraten  
und Immunokastraten mittels Magnetresonanztomographie und  
Dualenergie–Röntgenabsorptiometrie**

von Franz Gossenreiter

aus Freistadt

München 2015

Aus dem Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Prof. Dr. Armin M. Scholz

Mitbetreuung durch: Dr. Maren Bernau

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

**Dekan:** Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

**Berichterstatter:** Prof. Dr. Armin M. Scholz

**Korreferent/en:** Priv.-Doz. Dr. Sven Reese

**Tag der Promotion: 18. Juli 2015**

Meiner Familie und Kathi

# Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG .....	1
2	LITERATUR .....	3
2.1	Fleischproduktion .....	3
2.1.1	Fleischproduktion weltweit .....	3
2.1.2	Fleischproduktion Deutschland .....	4
2.1.3	Schweineproduktion in Deutschland .....	5
2.1.4	Mast männlicher Tiere .....	5
2.2	Ebermast .....	6
2.2.1	Positive Aspekte der Ebermast .....	6
2.2.2	Zu bedenkende Auswirkungen der Ebermast .....	9
2.2.3	Aktuelle Studien zur Ebermast .....	12
2.3	Leistungsprüfung beim Schwein .....	13
2.3.1	Zuchtleistungsprüfung .....	16
2.3.2	Fleischleistungsprüfung .....	17
2.4	Einteilung der Schweineschlachtkörper in die Handelsklassenbezeichnung .....	20
2.5	Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Nutztier .....	24
2.5.1	Bildgebende Verfahren .....	24
2.5.2	Gewebe Interaktion .....	26
2.5.3	Verdünnungsmethoden .....	27
2.5.4	Analysen auf Atomniveau .....	27
2.6	Magnetresonanztomographie (MRT) .....	30
2.6.1	Aufbau einer magnetresonanztomographischen Anlage .....	30
2.6.2	Funktionsweise der Magnetresonanztomographie .....	34
2.6.3	Vom Signal zum Bild .....	41
2.6.4	Artefakte im magnetresonanztomographischen Bild .....	42
2.6.5	Einsatz der Magnetresonanztomographie in der Tierzucht .....	43
2.6.6	Einsatz der MRT beim Schwein .....	44

## Inhaltsverzeichnis

2.7	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) .....	48
2.7.1	Aufbau eines Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie-Gerätes .....	48
2.7.2	Funktionsweise der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie .....	49
2.7.3	Vor und Nachteile der Untersuchung mittels DXA .....	50
2.7.4	Einsatz der DXA beim Schwein .....	51
3	MATERIAL UND METHODEN .....	55
3.1	Versuchstiere .....	55
3.1.1	Herkunft und Genetik der Versuchstiere .....	55
3.1.2	Haltung der Versuchstiere .....	55
3.1.3	Fütterung der Versuchstiere .....	56
3.2	Untersuchung der Versuchstiere .....	57
3.2.1	Untersuchung mittels Magnetresonanztomographie .....	57
3.2.2	Auswertung der magnetresonanztomographischen Bilder .....	60
3.2.3	Untersuchung mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie .....	70
3.2.4	Auswertung der Daten .....	74
4	ERGEBNISSE .....	75
4.1	Ergebnisse der MRT Auswertung .....	75
4.1.1	MRT Kotelett .....	75
4.1.2	MRT Schinken .....	76
4.1.3	MRT Schulter .....	76
4.1.4	MRT Filet .....	77
4.1.5	MRT Lende .....	77
4.2	Ergebnisse der DXA Auswertung .....	78
4.2.1	Gewicht .....	78
4.2.2	Magerweichgewebe .....	79
4.2.3	Fettgewebe .....	80
4.2.4	Bone Mineral Density (BMD) = Knochenmineraldichte .....	81
4.2.5	Bone Mineral Content (BMC) = Knochenmineralgehalt .....	82
4.3	Vergleich zwischen MRT-Regionen und dem DXA Gesamtkörper .....	83
4.3.1	Eber .....	83
4.3.2	Kastraten .....	83

## Inhaltsverzeichnis

4.3.3	Improvac.....	84
4.3.4	Geschlechter übergreifend.....	85
5	DISKUSSION .....	86
5.1	Diskussion Material und Methoden .....	86
5.1.1	Tiermaterial .....	86
5.1.2	Methoden.....	86
5.2	Diskussion MRT-Ergebnisse .....	88
5.3	Diskussion DXA-Ergebnisse.....	90
5.4	Diskussion Ergebnisse Magnetresonanztomographie im Vergleich zu Ergebnisse Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie .....	93
6	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK .....	94
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	96
8	SUMMARY .....	99
9	LITERATURVERZEICHNIS .....	102
10	DANKSAGUNG .....	111



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltfleischproduktion: Verteilung der Tierarten angegeben in Prozent. Daten aus FAO (2012).....	3
Abbildung 2: Fleischproduktion in Deutschland. Verteilung der Tierarten, angegeben in Prozent. Daten aus FAO (2012).....	5
Abbildung 3: Gewebeanteile in Schlachtkörpern von Kastraten und Ebern in Prozent, modifiziert nach Dobrowolski <i>et al.</i> (1995).....	8
Abbildung 4: Hormonregulation des Ebers .....	9
Abbildung 5: Übersicht über die Leistungsprüfungen in der Schweineherdbuchzucht; modifiziert nach HORST & GREGOR (1997) .....	14
Abbildung 6: Messpunkte B7, A7 und C7 am Schwein .....	18
Abbildung 7: Messlinie im Kotelettquerschnitt auf Höhe der 2./3. letzten Rippe aus LITTMANN <i>et. al.</i> (2006) ..	21
Abbildung 8: Meßstellen für das ZP-Verfahren, aus LITTMANN <i>et al.</i> (2006) .....	23
Abbildung 9: Magnetresonanztomograph des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim .....	30
Abbildung 10: Protonen besitzen eine positive Ladung; modifiziert nach SCHILD (1997) .....	35
Abbildung 11: Sobald Protonen einem starken externen Magneten ausgesetzt sind, ordnen sie sich entweder parallel oder antiparallel zum externen Magnetfeld an; aus SCHILD (1997). .....	36
Abbildung 12: Die Protonen führen in einem starken Magnetfeld eine Kreiselbewegung aus, welche als Präzession bezeichnet wird; aus SCHILD (1997). .....	36
Abbildung 13: Patient in einem starkem Magnetfeld, er wird selbst zum Magneten, ein neuer magnetischer Kraftvektor induziert, der entlang des externen Magnetfeldes ausgerichtet ist; aus SCHILD (1997) .....	37
Abbildung 14: Umkehr der Longitudinalmagnetisierung in eine Transversalmagnetisierung; aus SCHILD (1997)	38
Abbildung 15: Verhältnis Pixel zu Voxel sowie der Zusammenhang mit der Schichtdicke .....	41
Abbildung 16: DXA-Gerät am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim .....	48
Abbildung 17: Drei-Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fettgewebe, Magerweichgewebe und Knochengewebe; modifiziert nach SCHOLZ <i>et al.</i> (2002).....	50
Abbildung 18: Untersuchung der Schlachtkörper mittels Magnetresonanztomographie am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim .....	58
Abbildung 19: Technik zum Verschnüren der Schlachthälften .....	59
Abbildung 20: Schlachtkörper auf dem MRT-Tisch mit den positionierten Eppendorfröhrchen; die ovalen Kreise umranden die Röhrchen .....	60
Abbildung 21: 1. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Die Knochen wurden umrandet. ....	62
Abbildung 22: 2. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Die Muskel-Fett-Grenze wurde definiert. ....	62

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 23: 3. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Die Muskelfläche wurde anhand der Graustufen (Image Thresholds) definiert. ....	63
Abbildung 24: 4. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Es wurde eine Region of Interest um die Fettauflage gezogen und gleichzeitig wurden die Knochenmarkierungen entfernt. ....	63
Abbildung 25: 5. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Die Fettauflage wurde anhand der Graustufen (Image Thresholds) definiert. ....	64
Abbildung 26: 6. Schritt der halbautomatischen Auswertung: Nachdem die Fettauflage definiert wurde, ist der Afterbereich manuell abgegrenzt worden. ....	64
Abbildung 27: Manuelle Auswertung einer Kotelett Scheibe. Der rote Pfeil zeigt auf die Muskelfläche, der gelbe Pfeil kennzeichnet die Fettfläche, der grüne Pfeil kennzeichnet das eingekreiste Wasserröhrchen, das als Orientierungshilfe diente und der blaue Pfeil markiert die ausgewählte Grenze der Fettauflage. ....	65
Abbildung 28: 3D-Rekonstruktion des Koteletts. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe .....	66
Abbildung 29: Definition der Messstelle. Der violette Pfeil im Bild 1 zeigt den Unterschenkelknochen, der weiße Pfeil im Bild 2 zeigt die Kniecondylen bereits separat. Dies war der erste Schnitt der analysiert wurde. ....	66
Abbildung 30: Darstellung der 5 Scheiben nach halbautomatischer Auswertung der Schinkenregion. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe .....	67
Abbildung 31: 3D-Rekonstruktion der Schinkenregion. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe .....	67
Abbildung 32: Halbautomatische Auswertung der Schulterregion. Im Bild Nummer 5 (weißer Pfeil) sind Vordergliedmaße und Rumpf noch getrennt, im Bild 4 bereits vereint welches somit das erste auszuwertende Bild darstellt. Muskelfläche: Rot umrahmt, Fettfläche: Gelb umrahmt. ....	68
Abbildung 33: 3D-Rekonstruktion der Schulter. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe .....	68
Abbildung 34: Manuelle Auswertung des Lenden- und Filetbereiches. Rot: Musculus psoas major, Gelb: Fettgewebe, Blau: Musculus longissimus lumborum, der blaue Pfeil markiert die ausgewählte Grenze der Fettauflage. ....	69
Abbildung 35: 3D-Schema eines Filets bzw. einer Lende inklusiver Fettauflagerung. Rot: Musculus psoas major, Blau: Musculus longissimus lumborum, Gelb: Fettgewebe .....	69
Abbildung 36: Scanvorgang einer Schlachtkörperhälfte mittels GE Lunar iDXA am DXA-Gerät des Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim. ....	70
Abbildung 37: DXA-Bild mit den bereits eingezeichneten Teilregionen: .....	71
Abbildung 38: Vollständiges Ergebnisblatt eines Tieres mit den ausgewerteten Daten der 6 Regionen. ....	73

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfluss der Rangordnung auf die Konzentration an Androstenon der Eber ( $\mu\text{g/g}$ Fettgewebe). Der ranghöhere Eber (Tier 2) steigerte seine Hodenfunktion, aus Claus, (1993) .....	11
Tabelle 2: Anteile (%) der einzelnen Hauptteilstücke Schulter, Kamm (mit Nackenspeck), Kotelett (mit Rückenspeck), Bauch, Filet und Schinken sowie deren Gesamtanteil am Schlachtkörper, aus BAUER & JUDAS (2014) .....	13
Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Feld- und Stationsprüfungen; modifiziert nach Littmann <i>et al.</i> (2006) .....	16
Tabelle 4: Vergleich von verschiedenen Methoden zur indirekten Messung der Körperzusammensetzung nach SCHOLZ und BAULAIN (2009) .....	28
Tabelle 5: Signalintensität verschiedener Gewebe in T1- und T2- gewichteten Bildern für lebende Probanden; modifiziert nach Weishaupt <i>et al.</i> (2009) .....	41
Tabelle 6: Anteilsmäßiges Verhältniss der Futterkomponenten in den verschiedenen Futtersorten (LT = Lebenstag) .....	56
Tabelle 7: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Schweine des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim .....	57
Tabelle 8: Untersuchungsprotokoll der Magnetresonanztomographie .....	58
Tabelle 9: Positionierung der Wasserröhrchen zur Orientierungshilfe .....	59
Tabelle 10: Ausgewertete MRT-Regionen .....	61
Tabelle 11: MRT Ergebnisse Kotelettregion .....	75
Tabelle 12: MRT Ergebnisse Schinkenregion .....	76
Tabelle 13: MRT Ergebnisse Schulterregion 1. Schnittbild .....	77
Tabelle 14: MRT Ergebnisse Schulterregion 5 Schnittbilder .....	77
Tabelle 15: MRT Ergebnisse Filetregion .....	77
Tabelle 16: MRT Ergebnisse 1. Schnittbild Lende .....	78
Tabelle 17: MRT Ergebnisse 5 Schnittbilder der Lende .....	78
Tabelle 18: Gesamtgewicht anhand der Schlachthofdaten und der DXA-Messung .....	79
Tabelle 19: DXA-Gewichtvergleich der Regionen .....	79
Tabelle 20: DXA Magerweichgewebe der Regionen (absolut in g) .....	80
Tabelle 21: DXA Magerweichgewebeanteil (%) der Regionen .....	80
Tabelle 22: DXA Fettgewebe der Regionen (absolut, g) .....	81
Tabelle 23: DXA Fettgewebeanteil (%) der Regionen .....	81
Tabelle 24: Knochenmineraldichten (BMD, $\text{g/cm}^2$ ) der Regionen .....	82

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 25: Knochenmineralgehalte (BMC, g) der Regionen .....	82
Tabelle 26: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Eber nach einer "stepwise" Regressionsanalyse .....	83
Tabelle 27: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Kastraten nach einer "stepwise" Regressionsanalyse .....	84
Tabelle 28: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Immunokastraten nach einer "stepwise" Regressionsanalyse .....	84
Tabelle 29: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe) anhand von MRT-Regionen für alle Tiere nach einer "stepwise" Regressionsanalyse .....	85

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
3 D	dreidimensional
<sup>40</sup> K	Kalium <sup>40</sup>
ABB	Arbeitsgemeinschaft der Besamungsstationen in Bayern
ALZ	Ausschuss für Leistungsprüfung und Zuchtwertfeststellung beim Schwein
Auto FOM	Automatischer FAT-O-Meater
BIA	Bioelektrische Impedanz
BMC	bone mineral content
BMD	bone mineral density
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
cm <sup>2</sup>	Quadratzentimeter
CT	Computer Tomographie
D <sub>2</sub> O	Deuterium Oxid
DHS	Deutsche Herdbuchzucht Schwein
DL	Deutsche Landrasse
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DXA	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie
e.V.	eingetragener Verein
EGZH	Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und Hybridzuchtschweine in Bayern
<i>et al.,</i>	und andere
EVT	Europäische Vereinigung für Tierproduktion
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FOM	FAT-O-Meater
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
g	Gramm
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon

## Abkürzungsverzeichnis

HB	Herdbuch
HGP4	Henessy Grading Probe
HSZV	Hybridschweinezuchtverband
Immunokast.	Immunokastrat
kg	Kilogramm
LF <sub>24</sub>	Leitfähigkeitsmessung des Fleisches 24 Stunden nach dem Schlachten
LG	Lebendgewicht
LH	Luteinisierendes Hormon
LKV	Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern
LRS	Landesverband Rheinischer Schweinezüchter
LSM	last sqare means
LT	Lebenstag
LVG	Lehr- und Versuchsgut
mA	Milliampere
MF	Muskelfleischanteil
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
mm <sup>3</sup>	Kubikmillimeter
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomographie
ms, msec	Millisekunden
MSZV	Mitteldeutscher Schweinezuchtverband
mT	Millitesla
NA	Neutronenaktivierungsanalyse
NIR	Nahinfrarot Interaktanz
pH <sub>1</sub>	Säuregradbestimmung des Fleisches 45 Minuten nach dem Schlachten
pH <sub>24</sub>	Säuregradbestimmung des Fleisches 24 Stunden nach dem Schlachten
PI	Pietráin
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
REML	restricted maximum likelihood
RMSE	Root Mean Sqare Error, Standardschätzfehler
ROI	region of interest

## Abkürzungsverzeichnis

R-Wert	Röntgenabschwächungskoeffizient
Sch.	Schnittbild beziehungsweise Scheiben
SCHWZLP	Schweinezuchtleistungsprüfung
sec	Sekunden
SEE	Standard Error of Estimation
SEUROP	Klassifizierungsgrade für Schlachtkörper
SFH	Schweinezucht und Ferkelerzeuger Hessen
SHZ	Schweineherdbuchzucht
SZV	Schweinezuchtverband
T	Tesla
T1	longitudinale Relaxationszeit
T2	transversale Relaxationszeit
TE	Time to Echo, Echozeit
TGD	Tiergesundheitsdienst
TOBEC	Total Body Electrical Conductivity
TR	Time to Repeat, Repetitionszeit
TS	Trockensubstanz
US	Ultraschall
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
VSR	Verband für Schweineproduktion Rheinland-Pfalz
ZDS	Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion
$\mu\text{g}$	Microgramm
$\mu\text{Sv}$	Microsievert
$\mu\text{Gy}$	Microgray

## 1 Einleitung

In beinahe allen europäischen Ländern werden die männlichen Mastferkel kastriert (ADAM, 2009), da die Kastration das älteste Verfahren zur Unterdrückung des Ebergeruchs darstellt (FREDRIKSEN *et al.*, 2009). Bis zum 7. Lebenstag dürfen männliche Ferkel in Deutschland ohne Betäubung kastriert werden (TIERSCHUTZGESETZ, 2006). Die betäubungslose Kastration gerät zunehmend in die öffentliche Diskussion. Die Dachverbände der Land- und Forstwirtschaft sowie des deutschen Einzelhandels haben sich in der sogenannten Düsseldorfer Erklärung vom 29. September 2008 (HEALTH, 2008) bis zur Erarbeitung praxistauglicher Alternativen auf den Einsatz von Schmerzmitteln geeinigt (ADAM, 2009). Von Seiten der Europäischen Union wurden im Jahr 2010 zwei Schritte eingeleitet: „Im ersten Schritt wird die chirurgische Kastration bei Schweinen ab dem 1. Januar 2012 gegebenenfalls nur noch bei Verabreichung von Schmerz- und/oder Betäubungsmitteln und nach allseits anerkannten Methoden durchgeführt. Im zweiten, längerfristigen Schritt, soll dafür gesorgt werden, dass die chirurgische Kastration bei Schweinen bis zum 1. Januar 2018 eingestellt wird und bis dahin eine einheitliche Alternative zur Kastration gefunden wird. Diese Erklärung wird von mehreren Akteuren in der Schweinebranche und im Einzelhandel in Europa und nichtstaatlichen Organisationen aufgesetzt und unterzeichnet. Alle Akteure in der Schweinebranche und im Einzelhandel in Europa sind eingeladen, sich dieser freiwilligen Initiative anzuschließen (ABSICHTSERKLÄRUNG, 2010) Die Ebermast stellt daher eine mögliche Alternative dar, da sie - neben der Geruchsproblematik - auch Vorteile wie z.B. einen höheren Magerfleischanteil, die bessere Futterverwertung sowie die zum Teil höheren Tageszunahmen im Vergleich zu Kastraten (ADAM, 2009) mit sich bringt. Genau diese Punkte werden einerseits vom Verbraucher heutzutage gewünscht und ermöglichen andererseits dem Landwirt eine wirtschaftliche Produktion.

Damit sich eine Ebermast flächendeckend durchsetzen kann, bedarf es aber noch einiger Schritte. Nachteilig für die Landwirte ist, dass es zurzeit noch keine eigene Klassifizierung für Eber gibt. Aus früheren Untersuchungen (DOBROWOLSKI *et al.*, 1995) geht hervor, dass fleischreiche Schlachtkörper der Eber mit den zurzeit angewandten Methoden und Schätzformeln unterschätzt werden (ADAM, 2009). Untersuchungen über die Körperzusammensetzung der Eber bilden die Grundlage um dieses Problem lösen zu können.



## Einleitung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Unterschiede der Schlachtkörperzusammensetzung zwischen Ebern, Kastraten und Immunokastraten mithilfe von Magnetresonanztomographie und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zu evaluieren und Regionen mit Potential für eine geeignete Klassifizierung der Eberschlachtkörper vorzuschlagen.

## 2 Literatur

### 2.1 Fleischproduktion

#### 2.1.1 Fleischproduktion weltweit

Im Jahr 2012 wurden weltweit 301,1 Mio. Tonnen Fleisch erzeugt. 1992 waren es noch 187,3 Mio. Tonnen. Der Fleischkonsum ist somit allein in den letzten 20 Jahren um 62 Prozent gestiegen. Die einzelnen Fleischarten betrachtend, hat weltweit die Erzeugung von Schweinefleisch mit 36 Prozent die größte Bedeutung (FAO, 2012). Der Schweinebestand der Welt hat sich in den vergangenen 50 Jahren verdreifacht und liegt bei etwa 1 Milliarde Schweinen, wobei alleine China etwa 50 Prozent des gesamten Bestandes hält (VON LEMBERGEN & WICKE, 2006). Den zweitgrößten Anteil macht Geflügelfleisch mit 35 Prozent, gefolgt von Rindfleisch mit 21 Prozent aus. Schaf- und Ziegenfleisch machen etwa 5 Prozent aus (FAO, 2012). Abbildung 1 zeigt die prozentuelle Verteilung der Fleischproduktion weltweit.

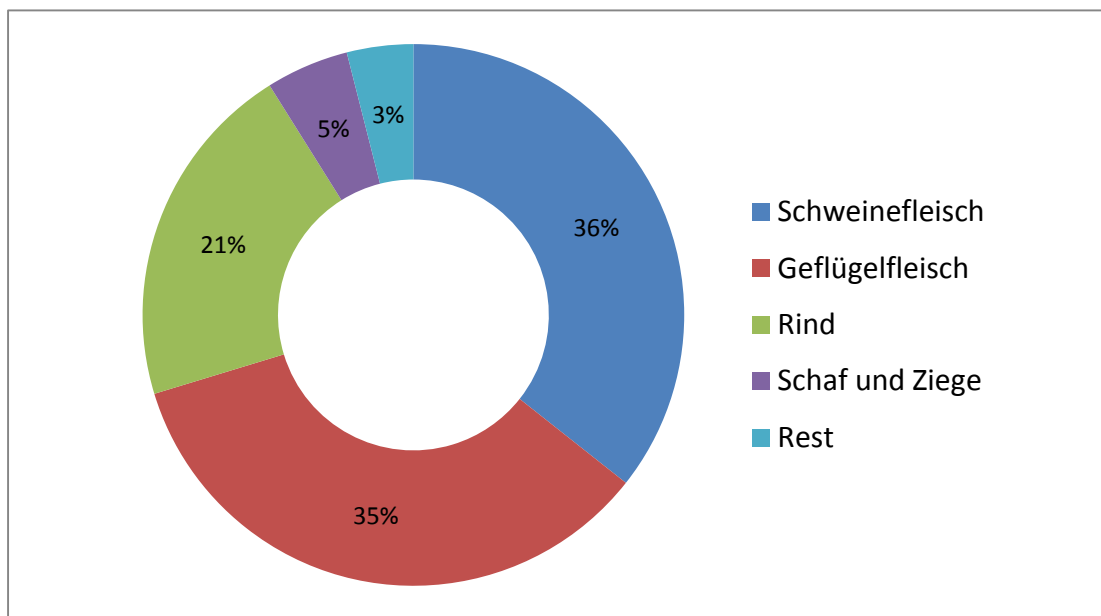


Abbildung 1: Weltfleischproduktion: Verteilung der Tierarten angegeben in Prozent. Daten aus FAO (2012)

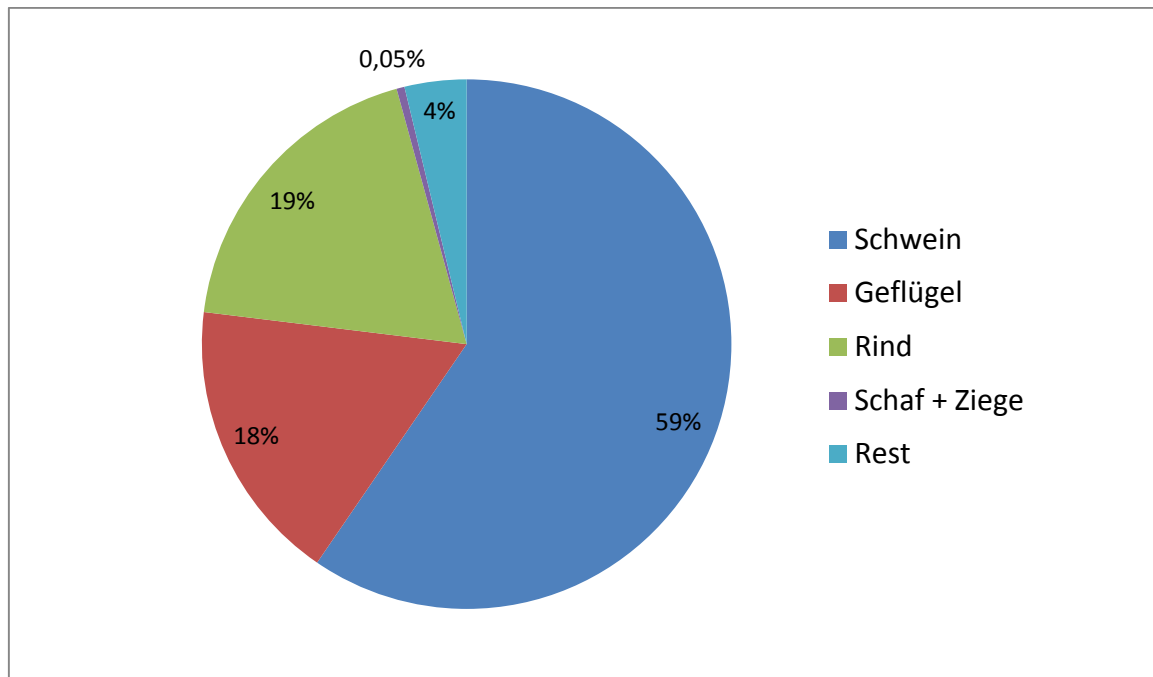
Die weltweite Nachfrage nach Fleisch steigt in den verschiedenen Regionen der Welt unterschiedlich. In Europa und den USA, den traditionell großen Fleischproduzenten des 20. Jahrhunderts, nimmt der Konsum nur noch langsam zu oder stagniert sogar (FAO, 2012).

Auf die Wachstumskontinente wie zum Beispiel Asien werden hingegen bis 2022 rund 80 Prozent des Wachstums im Fleischsektor entfallen. Das größte Wachstum wird aufgrund der immensen Nachfrage in den neuen Mittelschichten in China und Indien stattfinden. Heute sind Agrarflächen, Futter und Energie knapp und die Kosten für die Produktion hoch (CHEMNITZ & BENNING, 2014), somit steigt die Gesamtproduktion von Fleisch weniger stark als noch in den letzten Dekaden. Nur bei Schweinen und Geflügel wächst der Markt. Beide Tierarten zeigen eine gute Futterverwertung und können „platzeffektiv“ gehalten werden. Damit befriedigen sie die unersättliche Nachfrage nach „billigem“ Fleisch. Bis 2022 wird fast die Hälfte des zusätzlich konsumierten Fleisches Geflügel sein. Die Produktion von Rindfleisch hingegen wächst kaum. Die USA bleiben mit 11 Millionen Tonnen der größte Rindfleischproduzent der Welt (CHEMNITZ & BENNING, 2014).

### 2.1.2 Fleischproduktion Deutschland

In Deutschland wurden 2012 insgesamt 7,6 Mio. Tonnen Fleisch produziert. Anteilsmäßig an der Weltproduktion sind das 2,5 %. 1992, also vor 20 Jahren wurden in Deutschland 6 Mio. Tonnen Fleisch produziert (FAO, 2012). Somit beträgt der nationale Anstieg in den letzten 20 Jahren ca. 25 Prozent, verglichen mit einem weltweiten Anstieg von 62 Prozent.

Abbildung 2 zeigt das Mengenverhältnis der in Deutschland produzierten Fleischmengen nach Tierarten. Die Werte wurden auf ganze Zahlen gerundet. In Deutschland wird zu 59 Prozent Schweinefleisch produziert. Rindfleisch und Geflügelfleisch werden etwa zu gleichen Anteilen produziert. Zusätzlich wird noch ein sehr kleiner Anteil an Schaf und Ziegenfleisch produziert (FAO, 2012).



**Abbildung 2: Fleischproduktion in Deutschland. Verteilung der Tierarten, angegeben in Prozent. Daten aus FAO (2012)**

### 2.1.3 Schweineproduktion in Deutschland

Deutschland war 2012 der drittgrößte Schweinefleischproduzent weltweit hinter China und den Vereinigten Staaten von Amerika (FAO, 2012). Laut Statistischem Bundesamt gab es zum Stichtag am 3. November 2013 in Deutschland 27.900 Schweine haltende Betriebe. Von diesen Betrieben wurden rund 28,1 Millionen Schweine gehalten (BUNDESAMT STATISTISCHES 2013). Die Schweineproduktion stellt eine bedeutende Wirtschaftsgröße in Deutschland dar. Mehr als ein Drittel der Landwirte in Deutschland halten Schweine. Jedes Jahr werden rund 5,7 Milliarden Euro durch den Verkauf von Schweinefleisch Erlöst (VON Lengerken & Wicke, 2006).

### 2.1.4 Mast männlicher Tiere

In den meisten Ländern ist die Mast männlich kastrierter Schweine weit verbreitet. Hauptgrund dafür ist das bessere Handling weil die Tiere durch die Kastration ruhiger werden. Zusätzlich wurde früher vom Konsumenten ein fettreicherer Schlachtkörper bevorzugt. Durch die Kastration setzen die Schweine tendenziell mehr Fett an (Bonneau,

1998; VON LENGERKEN & WICKE, 2006). Mittlerweile bevorzugt der Konsument mageres und kostengünstiges Schweinefleisch. Rinder und Schafe werden heutzutage beinahe ausschließlich als männlich intakte Tiere gemästet. Hauptgrund für die Kastration der männlichen Schweine ist der Ebergeruch. Durch das Kastrieren der männlichen Schweine wird die Ausbildung des Ebergeruchs unterdrückt (BABOL & SQUIRES, 1995). In den meisten EU-Ländern werden deswegen 80 bis 100 Prozent der männlichen Ferkel kastriert. Ausnahmen von dieser flächendeckenden Kastration bilden Länder wie Großbritannien und Irland. In diesen Ländern werden kaum Ferkel kastriert, wobei die Schlachtgewichte deutlich niedriger gehalten werden als in den anderen europäischen Ländern (ADAM, 2009). In einigen südlichen Ländern Europas wie z. B. Spanien, Portugal oder Zypern wird ebenfalls nur ein geringer Anteil aller männlichen Ferkel kastriert (FREDRIKSEN *et al.*, 2009). Interessant in diesem Zusammenhang ist, dass über 60% der Konsumenten nicht bewusst ist, dass männliche Ferkel kastriert werden (FREDRIKSEN *et al.*, 2011).

## 2.2 Ebermast

Unter Ebermast versteht man die Mast männlich intakter Schweine. Bei diesen Schweinen werden die Hoden nicht chirurgisch entfernt (GRANZ, 2011) und es werden keine anderen pharmakologischen Eingriffe, die Einfluss auf die Geschlechtshormone haben, verwendet. In den folgenden Abschnitten werden zunächst die positiven Aspekte der Ebermast und anschließend die zu bedenkenden Faktoren der Ebermast dargestellt.

### 2.2.1 Positive Aspekte der Ebermast

Eberschlachtkörper weisen einen **höheren Magerfleischanteil** als Kastraten auf (HANSEN & LEWIS, 1993; ANDERSSON *et al.*, 1997; BAUMGARTNER, 2008; ADAM, 2009; BAUER & JUDAS, 2014). Die Literaturquellen zeigen unterschiedliche Prozentangaben auf. Im Zuge einer grob-geweblichen Ganzkörperzerlegung besaßen Eber 4,1 % mehr Magerfleisch als Kastraten (ANDERSSON *et al.*, 1997)

In der Mast weisen die Eber **eine bessere Futterverwertung** als Kastraten (JUDGE *et al.*, 1990; BAUMGARTNER, 2008; ADAM, 2009) und weibliche Masttiere auf, d.h. ein Eber braucht weniger Kilogramm Futter um ein Kilogramm Fleisch anzusetzen (Andersson *et al.*,

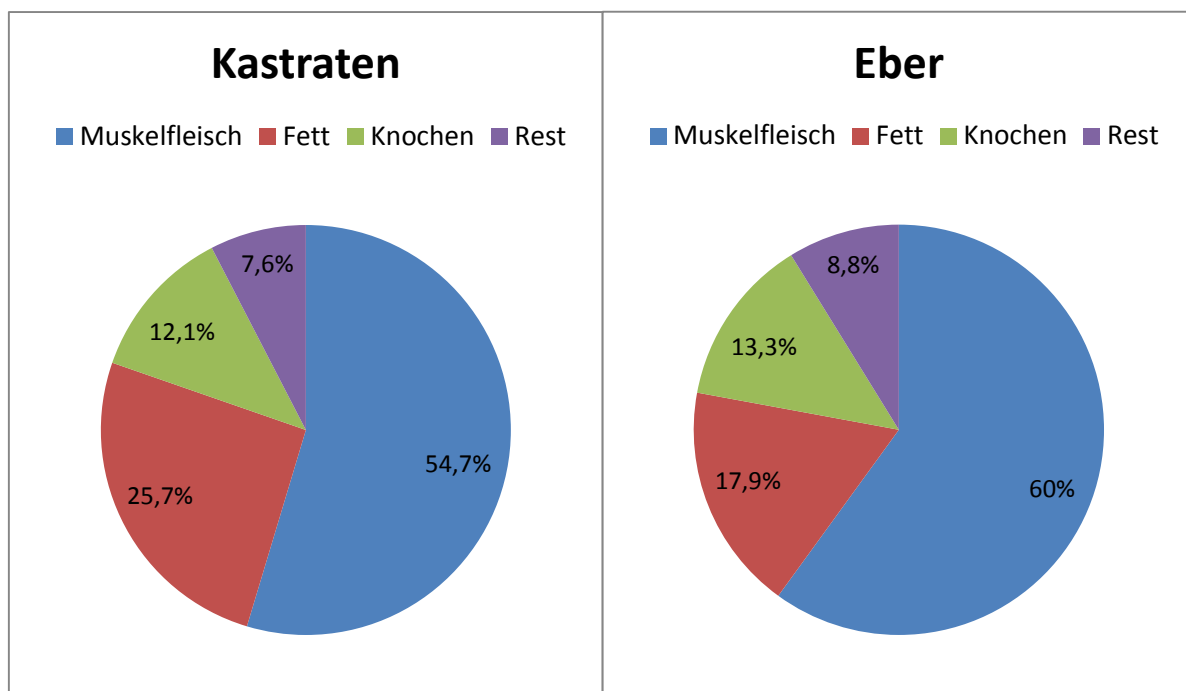
1997). Eber haben eine **geringere Futteraufnahme** pro Tag, aber dafür eine **deutlich bessere Futterverwertung** (ADAM, 2009), sie brauchen pro Kilogramm Zuwachs 0,4 kg weniger Futter als Börgen bei einem Schlachtgewicht von 115 kg. Des Weiteren waren die Eber den Börgen deutlich überlegen in Bezug auf Gewichtsverlust während des Transports (HOPPENBROCK, 1995).

Bei den Tageszunahmen zeigt die Literatur unterschiedliche Aussagen. Ab einem Lebendgewicht von 60 kg haben **Eber höhere Tageszunahmen** gegenüber den anderen Geschlechtern (ANDERSSON *et al.*, 1997). Dieser Effekt beruht vor allem auf der anabolen Stoffwechsellaage in der Pubertät (CLAUS, 1993). Die Autoren ANDERSSON *et al.* (1997) beobachteten diesen Effekt in getrennt geschlechtlicher Haltung mehr als in gemischt geschlechtlichen Mastboxen. Eber hatten höhere Tageszunahmen als Sauen (VANHEUKELOM *et al.*, 2012), jedoch hatten die Kastraten noch höhere tägliche Zunahmen (ADAM *et al.*, 2009).

Die Ebermast stellt eine aus wirtschaftlicher Sicht günstige Alternative zur Kastratenmast dar (SCHRADE *et al.*, 2014). Durch die **geringeren Produktionskosten** und den **höheren Anteil an Magerfleisch** verglichen mit den anderen Geschlechtern ist die Ebermast eine gute Möglichkeit die **Wirtschaftlichkeit** in der Schweinemast zu **steigern**. Neben dem höheren Magerfleischanteil hat Eberfleisch auch einen höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Diese beiden Aspekte könnten das Interesse der Konsumenten an Schweinefleisch steigern (BABOL & SQUIRES, 1995). Des Weiteren ist die Ebermast aus Sicht des **Tierschutzes** die am wenigsten umstrittene Methode, weil dadurch die Belastung und Schmerzen durch die Kastration für die Ferkel wegfallen (BAUMGARTNER, 2008).

Beim Bundesebermastversuch 1995 wurden 382 Schweine gemästet. Die Hälfte der Schweine waren Eber, die andere Hälfte Kastraten. Nach einer Eingewöhnungsphase begann der Versuch mit einem durchschnittlichen Lebendgewicht von 30 kg. Die Autoren Dobrowolski *et al.* (1995) fanden folgendes heraus: Eber haben **6 % mehr Muskelfleisch** und **8 % weniger Fett**. Zusätzlich haben Eberschlachtkörper prozentual einen höheren Anteil an Knochen, Schwarten und Sehnen. Die wertvollen Teilstücke des Schlachtkörpers betrachtend haben alle Teilstücke der Eber weniger Fett, dafür aber deutlich mehr Muskelfleisch. Am auffälligsten zeigt sich das Teilstück Bauch. Hier weisen Börgen durchschnittlich 37,2 %

Fettgewebe auf, die Eber im Gegensatz dazu 25,6 %. Die Teilstücke Kotelett, Kamm und Bug weisen auch deutliche Unterschiede im Fleisch – Fett Verhältnis auf. Beim Kotelett ist der Unterschied nicht so deutlich wie bei den anderen Teilstücken. Die Autoren vermuten eine Verzerrung des tatsächlichen Muskelfleischanteils bei der Verwendung der standardisierten Klassifizierung über die Kotelettfläche und somit eine Unterbewertung des eigentlichen Schlachtwertes der Eber. Abbildung 3 stellt die unterschiedlichen Gewebeanteile der Schlachtkörper von Kastraten und Ebern dar.



**Abbildung 3: Gewebeanteile in Schlachtkörpern von Kastraten und Ebern in Prozent, modifiziert nach Dobrowolski *et al.* (1995)**

Das vermehrte Muskelbildungsvermögen der Eber beruht auf der verstärkt anabolen Stoffwechsellaage, die durch die körpereigenen Hormone eingestellt wird (CLAUS, 1979). Anabol heißt, dass mehr Nahrungsprotein als Körperprotein angesetzt wird (CLAUS, 1993). Somit haben Eber eine höhere Stickstoffretention als Kastraten, was im Umkehrschluss bedeutet, dass **Eber weniger Stickstoff ausscheiden als Kastraten**. Diese Tatsache spielt eine entscheidende Rolle für die Landwirtschaft und die Umwelt (CLAUS, 1993).

### 2.2.2 Zu bedenkende Auswirkungen der Ebermast

Der Hauptgrund weshalb sich die Ebermast in den meisten Ländern nicht durchgesetzt hat, ist der **Ebergeruch** (BABOL & SQUIRES, 1995). Unter dem Begriff „Eber – Geschlechtsgeruch“ ist der beim männlichen, erwachsenen Schwein, durch den Menschen organoleptisch wahrnehmbare Geruch zu verstehen. Dieser Geruch tritt bei männlichen Schweinen, die als Ferkel kastriert wurden, nicht auf (CLAUS, 1979). Verantwortlich für den Ebergeruch sind vor allem die zwei Stoffe Androstenon und Skatol (BABOL & SQUIRES, 1995; BAUMGARTNER, 2008; ADAM, 2009). Zusätzlich sind weitere Substanzen an dem komplexen Ebergeruch beteiligt wie Indole, Aldehyde, Phenole sowie weitere zum Teil noch nicht näher bekannte Zwischenprodukte (ADAM, 2009). Mit Beginn der Pubertät produzieren männliche Tiere unter dem Einfluss von dem Luteinisierendem Hormon (LH) und dem Follikelstimulierendem Hormon (FSH) das männliche Geschlechtshormon Testosteron, woraus Androstenon entsteht (ADAM, 2009). Abbildung 4 zeigt die hormonellen Zusammenhänge.

Androstenon ist ein Pheromon des Ebers, das zusammen mit anderen Hormonen in den Leydigzellen des Hodens produziert wird (GOWER, 1972; CLAUS, 1979). Über das Blut gelangt Androstenon zu den Erfolgsorganen, Depots und Abgabeorganen. Aufgrund seiner Lipophilie wird Androstenon im Fettgewebe angereichert und gespeichert. Bei geringer oder unterbundener Nachlieferung, zum Beispiel nach einer Kastration wird Androstenon wieder abgegeben (CLAUS, 1979). Pheromone sind „Duftsignale“. Das „Duftsignal“ Androstenon wird sowohl von den Speichel- als auch Hautdrüsen vom Eber freigesetzt, um dann über die Luft zur Sau zu gelangen. Die Sau kann Androstenon über olfaktorische Rezeptoren aufnehmen, wodurch ihr Sexualverhalten verstärkt und die Fortpflanzungsfunktionen optimiert wird (CLAUS, 1979, 1993).

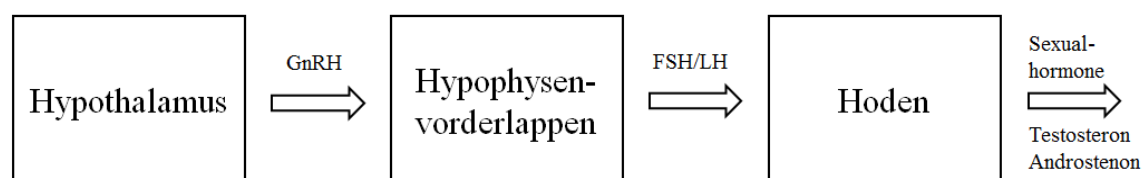


Abbildung 4: Hormonregulation des Ebers



Skatol ist ein Abbauprodukt der Aminosäure Tryptophan, welches im Darm mit Hilfe von Mikroorganismen gebildet wird (WEILER & WESOLY, 2012). Skatol ist im Gegensatz zu Androstenon keine geschlechtsspezifische Geruchskomponente. Aufgrund der hormonell gesteuerten anabolen Stoffwechsellaage wird es vermehrt im Dickdarm von Ebern gebildet (LÖSEL, 2007; ADAM, 2009).

Sowohl Androstenon als auch Skatol gelangen über die Blutbahn in das Fettgewebe und werden dort deponiert. Diese beiden Stoffe werden als Hauptkomponenten für den urin-, fäkal- beziehungsweise moschusartigen Geruch von Fleisch verantwortlich gemacht und als die Leitsubstanzen des Ebergeruchs benannt (ADAM, 2009).

Es gibt mehrere Quellen, die über die Akzeptanz dieser Stoffe berichten. In einer Studie, die von WEILER *et al.* (2000) durchgeführt wurden, zeigten sich Unterschiede in der Sensitivität gegenüber Androstenon. Die Studie wurde an deutschen und spanischen Konsumenten durchgeführt. Die Testergebnisse wurden in drei Kategorien (hochsensitiv, mittelsensitiv und nicht sensitiv) eingestuft. 31 % der spanischen Probanden waren hoch sensitiv gegenüber Androstenon, im Vergleich dazu waren lediglich 18 % der deutschen Konsumenten hoch sensitiv. Auch die Anzahl der nicht sensitiven Einschätzungen unterschied sich in den beiden Ländern. In Deutschland sind 68 % der Konsumenten nicht auf Androstenon sensitiv, in Spanien 53 %. In beiden Ländern waren signifikant mehr Frauen sensitiv als Männer. Beinahe alle Verbraucher können Skatol wahrnehmen (WEILER *et al.*, 2000). Andere Untersuchungen von FONT I FURNOLS *et al.* (2003) evaluierten den Alterseffekt. In der Altersgruppe von 41 bis 60 Jahren waren die meisten Testpersonen (40 Prozent) sensitiv gegenüber Androstenon, im Gegensatz dazu waren es in der Altersgruppe 18 bis 25 Jahre nur 21 Prozent. In dieser jungen Altersgruppe waren insgesamt 68 Prozent nicht sensitiv gegenüber Androstenon (FONT I FURNOLS *et al.*, 2003).

Eber haben eine **geringere Schlachtausbeute** als Kastraten und weibliche Tiere, was vor allem darauf zurück zu führen ist, dass die Geschlechtsteile der Eber schwerer sind als die der anderen Geschlechter (HANSEN & LEWIS, 1993; ANDERSSON *et al.*, 1997; ADAM, 2009). Die Berechnung der Schlachtausbeute erfolgte indem das Schlachtkörpergewicht durch das Lebendgewicht der Schweine dividiert wird.

Eber zeigten einen **geringeren Anteil an intramuskulären Fettgehalt** gegenüber den anderen Geschlechtern (ADAM, 2009; BAUER & JUDAS, 2014).

Sowohl Androgene als auch Östrogen lösen männliche Verhaltensmuster und damit ein **Aggressionspotential von Ebern** aus (JOSHI & RAESIDE, 1973). Generell unterscheiden sich Eber im Verhalten von den anderen Geschlechtern insofern, dass sie aktiver sind (HOPPENBROCK, 1995; VANHEUKELOM *et al.*, 2012). Im Speziellen zeigen Eber mehr Aggressionsverhalten, erforschen die Umgebung öfter als Sauen (VANHEUKELOM *et al.*, 2012), reiten öfter auf Buchtengenossen auf (VANHEUKELOM *et al.*, 2012; BÜNGER *et al.*, 2014) und zeigen insgesamt mehr agonistische Interaktionen wie Aufreiten, Beißen, Stoßen und Kämpfen (BÜNGER *et al.*, 2014). In der Natur dient Aggressivität der natürlichen Selektion. Versuche, in denen zwei Eber in einer Bucht gehalten wurden, hatten das Ergebnis, dass der ranghöhere Eber seine Hodenfunktion steigerte, während der andere in seiner Hormonproduktion „gehemmt“ war (CLAUS, 1993). Tabelle 1 zeigt einen Überblick über dieses Phänomen.

**Tabelle 1: Einfluss der Rangordnung auf die Konzentration an Androstenon der Eber (µg/g Fettgewebe). Der ranghöhere Eber (Tier 2) steigerte seine Hodenfunktion, aus Claus, (1993)**

Bucht	Tier 1 (µg Androstenon /g Fettgewebe)	Tier 2 (µg Androstenon /g Fettgewebe)
1	0,02	2,41
2	0,29	0,6
3	0,47	1,37
4	0,51	0,57
5	0,75	2,26
6	2,00	4,81
<b>Durchschnitt</b>	<b>0,67</b>	<b>2,00</b>

Andere Untersuchungen zeigten keine signifikanten Unterschiede in den Verhaltenskategorien (stehen, essen, trinken, spielen und beißen) gegenüber den Sauen (VANHEUKELOM *et al.*, 2012). Wurden Eber und Sauen in getrennt-geschlechtlichen Buchten aufgestellt, beobachteten VANHEUKELOM *et al.* dass Sauen keine großen Verhaltensunterschiede zeigen, ob sie neben anderen Sauen oder einer reinen Eberbucht stehen. Eber hingegen zeigen signifikant mehr Trinkverhalten und Erforschungsverhalten,

sowie tendenziell weniger Beißverhalten wenn sie neben weiblichen Artgenossen aufgestellt sind (VANHEUKELOM *et al.*, 2012).

### 2.2.3 Aktuelle Studien zur Ebermast

BAUER & JUDAS (2014) untersuchten 241 Schlachtkörperhälften (79 Eber, 79 Sauen und 83 Kastraten) unterschiedlicher Herkunft. Die Schlachtkörper wurden in drei Gewichtsgruppen (<90 kg, 90-99 kg,  $\geq 100$  kg) unterteilt. Die Schlachtkörperhälften wurden in die einzelnen Teilstücke nach DLG-Schnittführung (nach Scheper und Scholz, 1985) zerlegt. Die Teilstücke wurden in die Bestandteile Fleisch, Fett, Knochen, Sehnen, Schwarte und Drüsen unterteilt, wobei das Fettgewebe nochmals in subkutanes und intermuskuläres Fettgewebe unterteilt wurde. Die Eber besaßen mit  $60,5 \pm 2,5$  Prozent den höchsten Fleischanteil verglichen mit den Sauen ( $59,3 \pm 3,2$  Prozent) und den Kastraten ( $57,0 \pm 3,4$  Prozent). Die zweitgrößte Gewebefraktion Fett verhielt sich in gegenläufiger Reihenfolge (Kastraten:  $25,1 \pm 3,7$  Prozent; Sauen:  $22,2 \pm 3,6$  Prozent; Eber:  $18,9 \pm 2,9$  Prozent). Beim intermuskulären Fettgewebe unterschieden sich die Kastraten ( $9,1 \pm 1,1$  Prozent) signifikant von den Ebern ( $7,9 \pm 1,2$  Prozent) und den Sauen ( $7,9 \pm 1,2$  Prozent). Des Weiteren verfügten die Eber signifikant über den höchsten Knochengewebeanteil sowie den größten Anteil an Schwarte und Sehnen. Im Vergleich der unterschiedlichen Herkünfte erwies sich, dass die Eber bei allen Herkünften den höchsten Muskelfleischanteil (59,2 – 62,1%) und den niedrigsten Gesamtfettanteil (17,9-20,0%), gefolgt von den Sauen (56,8-62,1% Fleisch, 20,7-25,2 Fett) und den Kastraten (53,3-59,3% Fleisch, 22,4-29,1% Fett) aufwiesen. Dennoch war zu sehen, dass die Herkunft Pietráin x Süddeutsche Mutterlinie die geringsten Unterschiede im Merkmal Fleisch (mit 0,7 %-Punkten) und im Merkmal Fett (mit 2,4%-Punkten) aufwies (BAUER & JUDAS, 2014). Die Ergebnisse der Teilstückzerlegung (Tabelle 2) zeigen, dass der Anteil der wertvollen Hauptteilstücke am Gesamtschlachtkörper bei den Ebern mit 76,2 Prozent signifikant am geringsten im Vergleich zu den Sauen (76,6 Prozent) und den Kastraten (76,9 Prozent) war. Das Teilstück Schulter war bei den Ebern stärker ausgeprägt als bei den Kastraten und Sauen. Die Teilstücke Kotelett und Schinken sind bei den Kastraten stärker ausgebildet als bei den Ebern und im Filet zeigt der Eber den größten prozentualen Anteil am Gesamtschlachtkörper verglichen mit den Sauen und den Kastraten (BAUER & JUDAS, 2014).

**Tabelle 2: Anteile (%) der einzelnen Hauptteilstücke Schulter, Kamm (mit Nackenspeck), Kotelett (mit Rückenspeck), Bauch, Filet und Schinken sowie deren Gesamtanteil am Schlachtkörper, aus BAUER & JUDAS (2014)**

	Schulter[%]	Kamm[%]	Kotelett[%]	Bauch[%]	Filet[%]	Schinken[%]	Gesamt[%]
Eber	14,2±0,5 <sup>a</sup>	9,2±0,7 <sup>a</sup>	16,6±1,0 <sup>b</sup>	9,9±0,8 <sup>ab</sup>	1,7±0,1 <sup>a</sup>	24,6±1,3 <sup>b</sup>	76,2±1,1 <sup>b</sup>
Sauen	13,8±0,5 <sup>b</sup>	9,1±0,5 <sup>a</sup>	16,9±0,9 <sup>ab</sup>	9,7±0,8 <sup>ab</sup>	1,7±0,1 <sup>a</sup>	25,4±1,0 <sup>a</sup>	76,6±1,0 <sup>a</sup>
Kastraten	13,9±0,6 <sup>b</sup>	9,1±0,5 <sup>a</sup>	17,0±0,7 <sup>a</sup>	10,1±0,7 <sup>a</sup>	1,6±0,1 <sup>b</sup>	25,2±1,0 <sup>a</sup>	76,9±1,0 <sup>a</sup>

LSM (Kleinste Quadrate Mittelwerte) mit unterschiedlichen Superskripts zeigen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

### 2.3 Leistungsprüfung beim Schwein

Ziel der Leistungsprüfung ist die Ermittlung von Leistungsdaten. Mit Hilfe dieser Leistungsdaten sollen genetische Unterschiede in der Zuchtwertschätzung für potentielle Zuchttiere ermittelt werden (HORST & GREGOR, 1997). „Den Zuchtwert eines Individuums (Proband) bestimmen die Merkmalswerte seiner Nachkommen (Informanden)“ (KRÄUßLICH, 1997).

Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Züchtung ist eine sorgfältige Untersuchung der Merkmale, die wirtschaftlich bedeutend, züchterisch verbesserbar und ausreichend und exakt messbar sind. Mit diesen Informationen kann ein Programm für die Leistungsprüfung erstellt werden, mit dem die Tiere erfasst werden können, die vorrangig für die Zucht verwendet werden sollten. Somit ist die Leistungsprüfung die grundsätzliche Voraussetzung für jegliche Zuchtarbeit, da sie die Daten für die Zuchtwertschätzung liefert (VON Lengerken & Wicke, 2006). Eine Übersicht von den Leistungsprüfungen ist in Abbildung 5 dargestellt.

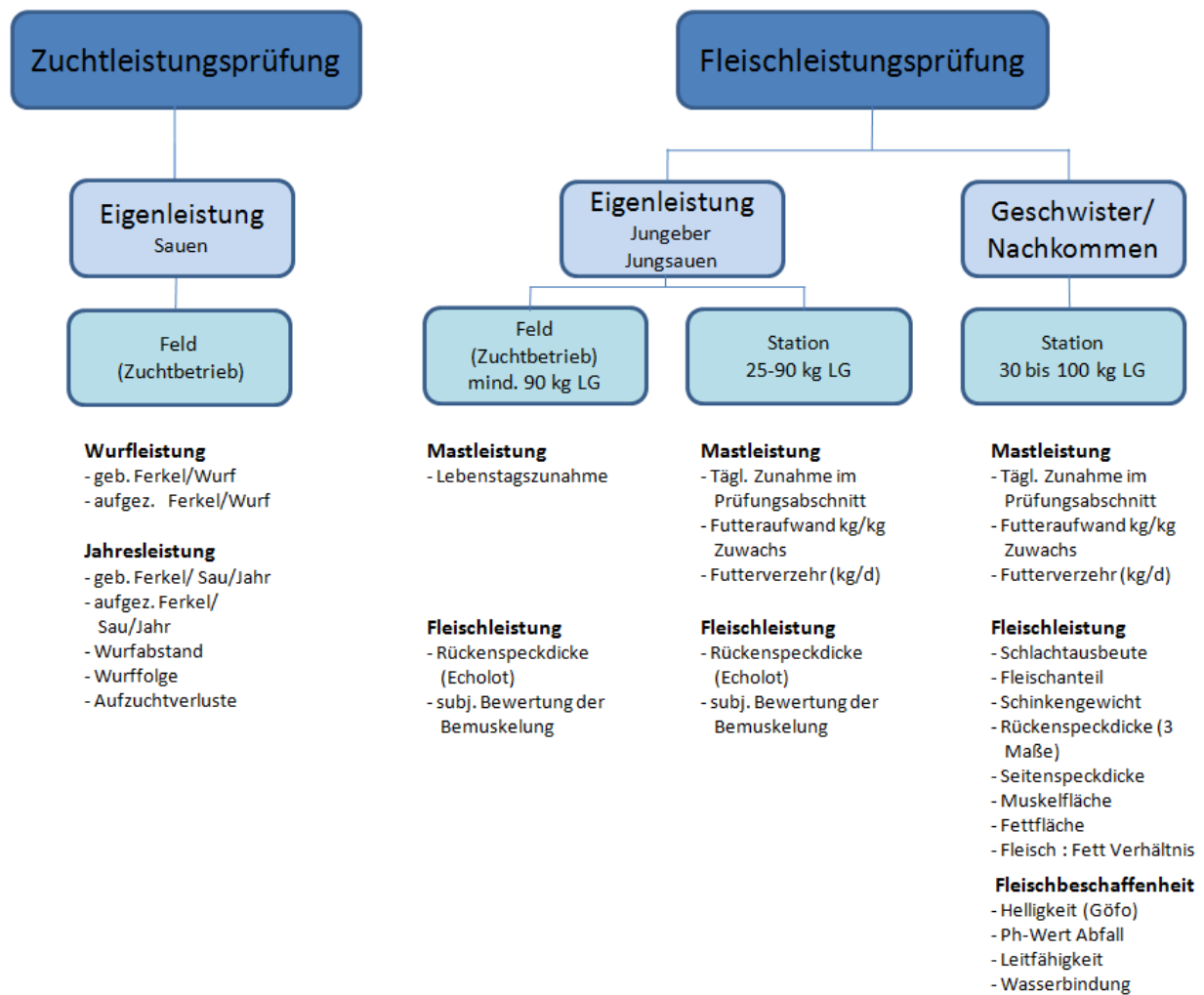


Abbildung 5: Übersicht über die Leistungsprüfungen in der Schweineherdbuchzucht; modifiziert nach HORST & GREGOR (1997)

National wird die Schweineproduktion bzw. die Leistungsprüfung durch verschiedene Stellen organisiert und kontrolliert. Im folgenden sind die wichtigsten Organisationen aufgeführt (LITTMANN *et al.*, 2006):

National:

- Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion (ZDS) e. V.
- Deutsche Herdbuchzucht Schwein (DHS): Dachorganisation von den Schweinezüchtervereinigungen aus Baden-Württemberg (SZV), Bayern (EGZH),

## Literatur

Hessen (SFH), Mecklenburg-Vorpommern (HSZV), Mitteldeutschland (MSZV), dem Rheinland (LRS), Rheinland-Pfalz (VSR) und Schleswig-Holstein (SHZ)

### Bayern:

- Ringgemeinschaft Bayern e. V.
  - Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e. V. (LKV)
  - Erzeugergemeinschaft und Züchtervereinigung für Zucht- und Hybridzuchtschweine in Bayern w. V. (EGZH)
  - Fleischprüfring Bayern e. V.
  - Tiergesundheitsdienst Bayern e. V. (TGD)
  - Arbeitsgemeinschaft der Besamungsstationen in Bayern e. V. (ABB)
- (LITTMANN *et al.*, 2006)

Bei der Leistungsprüfung werden zwei Arten unterschieden:

- nach den Informationsquellen: Vorfahren-, Eigenleistungs-, Geschwister-, Nachkommenprüfungen
- nach den örtlichen Bedingungen: Stations- und Feldprüfungen (Vor- und Nachteile siehe Tabelle 3)

Die Eigenleistungsprüfung hat beim Schwein eine große Bedeutung, weil alle Produktionsmerkmale schon vor der Zuchtnutzung geprüft werden können. Des Weiteren ist auch die Prüfung von Vollgeschwistern von Vorteil. Diese Ergebnisse liegen zeitgleich mit denen der Eigenleistung vor und können in die Zuchtwertschätzung einfließen und auf Körungen genutzt werden (HORST & GREGOR, 1997).

**Tabelle 3: Vor- und Nachteile von Feld- und Stationsprüfungen; modifiziert nach Littmann *et al.* (2006)**

	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Feldprüfungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Geschlossene Ketten mit wenigen Betrieben</li> <li>✓ Große Tierzahlen</li> <li>✓ Kostengünstig</li> <li>✓ Praxisorientiert</li> <li>✓ Rein- Raus- Verfahren</li> <li>✓ Geringerer Hygiene- und Prophylaxeaufwand</li> <li>✓ Gruppenhaltung</li> <li>✓ Keine Wertminderung des Schlachtkörpers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Große Fehlerquote</li> <li>✓ Mehrere Produktionsverfahren</li> <li>✓ Verschiedene Schlachtstätten</li> <li>✓ Keine Wiegungen</li> <li>✓ Keine Erfassung der Futteraufnahme</li> <li>✓ Keine bzw. nur wenige Fleischbeschaffenheitskriterium</li> <li>✓ Nur Klassifizierungsdaten</li> <li>✓ Hoher Datenschwund</li> </ul>
	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Stationsprüfungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Standardisierte Prüf- und Schlachtbedingungen</li> <li>✓ Hohe Vergleichbarkeit</li> <li>✓ Individuelle Futter-Verzehrmengenerfassung</li> <li>✓ Mehrmalige Tierwiegungen</li> <li>✓ Viele Schlachtkörper- und Fleischbeschaffenheitskriterien</li> <li>✓ Sensorische Merkmale</li> <li>✓ Viele Detailergebnisse</li> <li>✓ Kein Datenschwund</li> <li>✓ Hohe Aussagekraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Viele Lieferbetriebe</li> <li>✓ Kontinuierliche Beschickung</li> <li>✓ Großer Prophylaxeaufwand</li> <li>✓ Begrenzte Prüfkapazitäten</li> <li>✓ Wertminderung des Schlachtkörpers</li> <li>✓ Hoher Kostenaufwand</li> </ul>

### 2.3.1 Zuchtleistungsprüfung

Gesetzlich wurde die Zuchtleistungsprüfung bundesweit über die „Verordnung über die Leistungsprüfung und die Zuchtwertfeststellung bei Schweinen“ geregelt (SCHWZLPV, 1994). Die übergeordnete Rechtsgrundlage ist das Tierzuchtgesetz von 2011 (TIERZG, 2011). Zur Zuchtwertfeststellung bei einem Zuchtschwein werden die Zuchtwerteile Fleischleistung und Zuchtleistung in Leistungsprüfanstalten festgestellt. Die Zuchtleistung wird in Zucht- und

Ferkelerzeugerbetrieben durchgeführt. Dabei werden alle Sauen eines Bestandes geprüft (SCHWZLPV, 1994).

In Bayern ist der LKV mit der Durchführung der Zuchtleistungsprüfung beauftragt. Alle Sauen müssen im linken Ohr mit der Herdbuch (HB)-Nummer gekennzeichnet sein. Innerhalb der ersten drei Wochen nach der Geburt müssen die Ferkel im rechten Ohr gekennzeichnet werden. Die Anzahl der lebend geborenen Ferkel und das Wurfdatum sind bei der Geburt zu dokumentieren. Die Ferkelzahl (gesamt, männlich, weiblich), die Zitzenzahl (links, rechts) und die Vererbung von Anomalien sind am 21. Lebenstag zu erfassen. Der Züchter ist verpflichtet diese Wurfmeldung zwischen dem 21. und dem 28. Lebenstag an die Züchtervereinigung zu übermitteln (LITTMANN *et al.*, 2006).

### 2.3.2 Fleischleistungsprüfung

Die Fleischleistungsprüfung soll der Verbesserung von Merkmalen der Mast- und Schlachtleistung dienen und wird für die Selektion von Ebern und Sauen verwendet. Sie kann als Eigenleistungsprüfung im Feld bzw. in der Station oder als Geschwister- und Nachkommenprüfung in der Station durchgeführt werden (HORST & GREGOR, 1997).

Im Interesse einer bundeseinheitlichen Durchführung der Ebereigenleistungsprüfung hat der Ausschuss für Leistungsprüfung und Zuchtwertfeststellung beim Schwein (ALZ) des ZDS die Richtlinie für die Durchführung der Eber-Eigenleistungsprüfung auf Fleischleistung im Feld (RL EIG FL, 2005a) sowie die Richtlinie für die Durchführung der Ebereigenleistungsprüfung auf Fleischleistung in Prüfstationen (Stationsprüfung) beschlossen (RL EIG FL, 2005b). Die Prüfungen werden von den zuständigen Landesstellen durchgeführt.

Feldprüfung: Die Eber werden vor der Zuchtbewertung gewogen und mit einem vom ALZ zugelassenen Ultraschallgerät gemessen. Prüfungsabschnitt ist die Zeit vom ersten Lebenstag bis zum Tag der Wägung und Messung. An folgenden Stellen wird mit dem Ultraschallgerät gemessen:

- Maß B7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie in der Mitte des Tieres zwischen Schulter und Schinken



- Maß A7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie 10 bzw. 15 cm vor Maß B7 in Abhängigkeit von Rasse und Gewicht
- Maß C7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie 10 bzw. 15 cm hinter Maß B7 in Abhängigkeit von Rasse und Gewicht (siehe Abbildung 6)

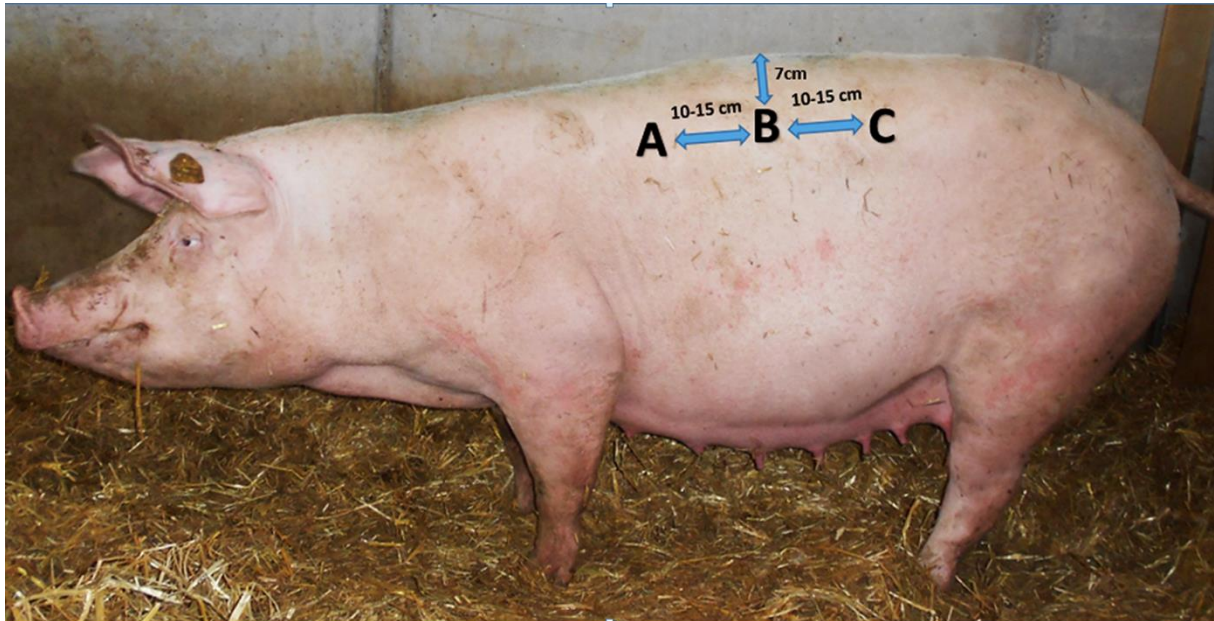


Bild: LVG Oberschleißheim

**Abbildung 6: Messpunkte B7, A7 und C7 am Schwein**

Die Muskeldicke wird nur im Messpunkt B7 erfasst. Als Speckdicke wird der mit dem Ultraschallgerät senkrecht zur Hautoberfläche gemessene Abstand zwischen der Hautoberfläche und der Fett-Muskel-Grenze definiert. Somit werden die Schwarte und die Fetteinlagerungen in der Unterhaut einschließlich Bindegewebe miterfasst. Des Weiteren wird die Tageszunahme berechnet, indem das Gewicht am Wiegetag mit der Anzahl der Lebenstage dividiert wird. Von der Zuchtorganisation wird zusätzlich eine Exterieurbeurteilung durchgeführt, mit einer Einstufung nach einem Notensystem von 1 bis 9. Die Note 5 stellt dabei den Mittelwert dar (RL EIG FL, 2005a).

Stationsprüfung: Die Mast und Schlachtleistungsprüfung wird nach der „Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein“ vom 04.09.2007 durchgeführt (MSF, 2007). Die Prüfanstalt wird mit den Tieren, die für die Prüfung vorgesehen sind, beschickt. Eine Prüfgruppe besteht aus jeweils zwei gleichgeschlechtlichen und möglichst gleichmäßig entwickelten Tieren eines Wurfes. Die

## Literatur

Tiere werden in einem Zeitraum von 30 kg bis 105 kg Lebendgewicht geprüft. Folgende Daten werden erhoben bzw. errechnet:

- Einstallgewicht
- Einstallalter
- Alter bei Prüfbeginn (Alter bei 30 kg Lebendgewicht)
- Alter bei Prüfende
- Mastendgewicht
- Tägliche Zunahme in g
- Futteraufwand je kg Zuwachs
- Tiergesundheitsdaten

Nachdem die Tiere geschlachtet und mindestens 12 Stunden gekühlt wurden, werden weitere Daten am hängenden Schlachtkörper erfasst:

- Schlachtkörpergewicht warm
- Schlachthälftengewicht kalt
- Schlachtkörperlänge in cm
- Rückenspeckdicke in cm
- Rückenmuskelfläche in cm<sup>2</sup>
- Fettfläche
- Fleisch : Fett Verhältnis
- Speckdicke über Rückenmuskelfläche (Speckmaß B)
- Seitenspeckdicke
- Fleischanteil im Bauch
- Fleischanteil in %: je nach Rasse mit unterschiedlichen Regressionsgleichungen
- pH<sub>1</sub> – Kotelett
- LF<sub>24</sub> – Kotelett (Leitfähigkeit)
- pH<sub>24</sub> – Schinken
- pH<sub>24</sub> – Kotelett

Nach Ablauf eines Prüfungsjahres werden die Ergebnisse der Zuchtwertfeststellung und Leistungsprüfung im Jahresbericht der Prüfanstalt veröffentlicht (MSF, 2007).

## 2.4 Einteilung der Schweineschlachtkörper in die Handelsklassenbezeichnung

Schlachtbetriebe im Sinne des Fleischgesetzes, die mehr als 200 Schweine pro Woche schlachten, sind verpflichtet alle Schweineschlachtkörper in das Handelsklassenschema einzustufen. Diese Einstufung muss möglichst zeitnah nach der Schlachtung und vor Beginn des Kühlprozesses durchgeführt werden. Zwischen Schlachten und Klassifizieren dürfen höchstens 45 Minuten vergehen. Für Schlachtkörper von Schweinen sind laut Schweinehandelsklassenverordnung von 1990, zuletzt geändert am 17. Juni 2014, folgende Handelsklassen möglich:

Handelsklasse	Anforderungen in Prozent des Muskelfleischanteils des Schlachtkörpers mit einem Schlachtgewicht von 50 kg und mehr, jedoch weniger als 120 kg
S	60 und mehr
E	55 und mehr, jedoch weniger als 60
U	50 und mehr, jedoch weniger als 55
R	45 und mehr, jedoch weniger als 50
O	40 und mehr, jedoch weniger als 45
P	weniger als 40
M	Schlachtkörper von Sauen
V	Schlachtkörper von zur Zucht verwendeten Ebern und Altschneidern

Der Muskelfleischanteil kann auf unterschiedliche Art geschätzt werden. Entweder es wird ein Gerät verwendet, dass von der Europäischen Union zugelassen ist oder der Muskelfleischanteil wird, wie folgt beschrieben, erfasst (SCHWHKLV, 2014):

Die Klassifizierungsgeräte werden in Sonden- und Ultraschallgeräte eingeteilt. Die zwei weitverbreitetesten Sondengeräte sind (in Deutschland) das FAT-O-Meater (FOM) und das Hennessy-Grading-System (HGP4). Die Funktionsweise der Sondengeräte basiert auf einem optoelektronischen Messsystem. Es wird mit der Einstichsonde in den Schlachtkörper

eingegangen (die Einstichstelle zeigt die Abbildung 7). Beim Herausziehen der Sonde, werden mit Hilfe einer Lichtquelle und einer Fotozelle, die in der Spitze der Sonde eingebaut ist, Strecken unterschiedlicher Helligkeit aufgrund verschiedener Reflexionsniveaus abgegrenzt. Die gemessenen Muskel- und Speckwerte werden in eine Formel eingesetzt und der Muskelfleischanteil so geschätzt (LITTMANN *et al.*, 2006).

Der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers wird anhand folgender Formel berechnet (SCHWHKLV, 2014):

$$MF = 60,98501 - 0,85831 \times S + 0,16449 \times F$$

MF = Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers geschätzt

S = Rückenspeckdicke (einschließlich Schwarte) in mm, gemessen 7cm seitlich der Trennlinie zwischen der zweit- und drittletzten Rippe

F = Dicke des Rückenmuskels in mm, gleichzeitig und an der gleichen Stelle wie S gemessen

Abbildung 7 zeigt die Messpunkte an der Schlachtkörperhälfte.

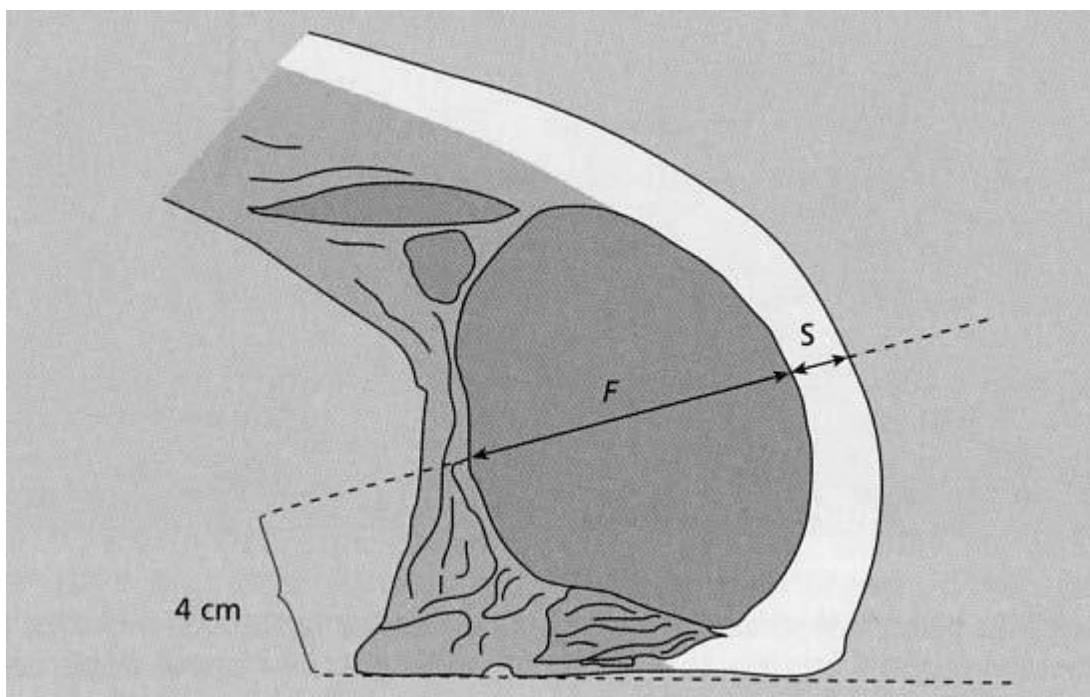


Abbildung 7: Messlinie im Kotelettquerschnitt auf Höhe der 2./3. letzten Rippe aus LITTMANN *et. al.* (2006)

Die Funktionsweise der Ultraschallgeräte beruht auf der Tatsache, dass unterschiedliche Gewebearten wie z.B. Fleisch, Fett oder Knochen, unterschiedliche Ultraschall-Echos

erzeugen. Somit kann ein Bild vom Schlachtkörper erstellt werden. Die größte Verbreitung hat das **Auto-FOM Gerät** (automatischer Fat-O-Meater I bzw. III). Es wird vorwiegend in Nord- und Westdeutschland eingesetzt. Mit Hilfe von 16 Ultraschallköpfen, montiert mit einem Abstand von 25 mm in einem halbrunden Edelstahlbügel können am Schlachtkörper alle 5 mm ungefähr 200 Querschnittbilder vom Schlachtkörper erzeugt werden. Das Auto-FOM Messgerät befindet sich zwischen Entborster und Abflammmofen. Die Schweine liegen auf dem Rücken und werden über das Messgerät gezogen. Es werden folgende Ergebnisse ermittelt: (LITTMANN *et al.*, 2006)

- Magerfleischanteil in Prozent
- Magerfleischanteil in Prozent für folgende Teilstücke:
  - Schinken schier vom Schinken
  - Lachs schier vom Kotelett
  - Schulter schier von der Schulter
  - Magerfleischanteil vom Bauch

Schlachtbetriebe, die pro Woche unter 200 Schweine schlachten, dürfen das Zwei-Punkt (ZP)-Verfahren anwenden. Je Schlachtkörper darf jedoch immer nur ein Klassifizierungsverfahren angewendet werden. Das Ergebnis der Klassifizierung ist bis zur Zerlegung des Schlachtkörpers gültig. Der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers wird beim ZP-Verfahren folgendermaßen berechnet (SCHWHKLV, 2014):

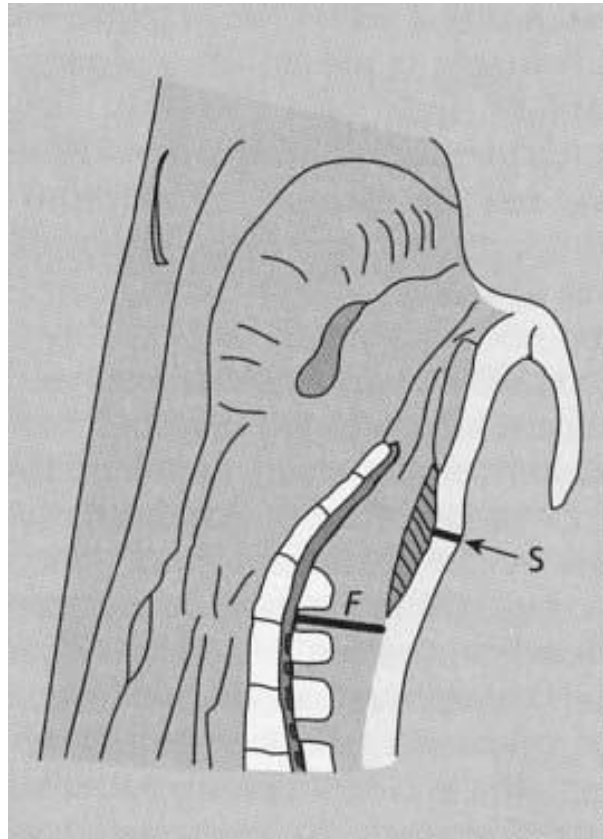
$$MF = 58,10122 - 0,56495 \times S + 0,13199 \times F$$

MF = Muskelfleischanteil des Schlachtkörper geschätzt

S = Speckmaß (einschließlich Schwarte) in mm, gemessen an der dünnsten Stelle des Speckes über dem *Musculus glutaеus medius*

F= Fleischmaß (Stärke des Lendenmuskels) in mm, gemessen als kürzeste Verbindung des vorderen (cranialen) Ende des *Musculus glutaеus medius* zur oberen (dorsalen) Kante des Wirbelkanals

Abbildung 8 zeigt wie Speck und Fleischmaß an den Schweinehälften mittels ZP – Verfahren ermittelt werden.



**Abbildung 8: Meßstellen für das ZP-Verfahren, aus LITTMANN *et al.* (2006)**

Der Grundpreis für die Bezahlung des Schlachtkörpers wird anhand des Muskelfleischanteils berechnet. Dazu kommen Zu- und Abschläge für höher- oder niederprozentige Schlachtkörper, sowie Abgrenzungen nach oben und unten mit bestimmten Schlachtgewichtsgrenzen, die bei Über- oder Unterschreitung zum Teil erhebliche Abzüge nach sich ziehen. Der tatsächliche Handelswert kann allein mit dem Magerfleischanteil nicht zufriedenstellend beurteilt werden. Spezielle Bewertungssysteme wurden entwickelt, die als „Preismasken“ bekannt sind. Problematisch dabei ist, dass es unterschiedliche „Preismasken“ gibt und sich eine Vergleichbarkeit für die Landwirte schwierig gestaltet (LITTMANN *et al.*, 2006).

## 2.5 Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beim Nutztier

Die Körperzusammensetzung hängt von vielen Faktoren wie z.B. Genetik, Geschlecht, Alter, Fütterung, Umwelt usw. ab. Um die besten Tiere für die Züchtung zu selektieren, ist es notwendig die Körperzusammensetzung der Tiere zu kennen (MITCHELL & SCHOLZ, 2001). Heutzutage gibt es viele Techniken, um eine objektive und genaue Bestimmung der Körperzusammensetzung durchzuführen. Der Großteil der heute durchführbaren Messverfahren beruht auf Interaktionen der verschiedenen Gewebearten auf atomarem oder molekularem Niveau, die in quantitativ auswertbaren Signalen resultieren. Welche Technik bei welcher Untersuchung angewendet werden sollte, hängt von vielen Faktoren ab. Einige Beispiele aus (SCHOLZ & BAULAIN, 2009) sind:

- Welches Gerät arbeitet am Genauesten
- Ist die Untersuchung mit diesem Gerät gut wiederholbar
- Sollte das Untersuchungsgerät mobil sein oder nicht
- Mit welchem Gerät kann man eine Messung praktikable durchführen
- Ist es notwendig meine Probanden zu fixieren, gegebenenfalls zu sedieren oder finde ich auch eine weniger invasive Untersuchungstechnik
- Welches Risiko kann ich eingehen
- Was kostet mich die Untersuchung
- Wie lange dauert die Messung bzw. die Auswertung der Untersuchung
- Wie robust ist das Untersuchungsgerät
- Wie ist die öffentliche Akzeptanz der Untersuchungsmethode

### 2.5.1 Bildgebende Verfahren

**Ultraschall (US):** Das Ultraschallgerät findet breite Anwendung in der Tiermedizin. Es wird für einfache Distanz-, bis zu Flächen- und Volumenmessungen verwendet. Praktische Anwendungsbeispiele sind z.B. die Speckdickenmessung mit Ultraschall in der Schweinezucht. Sowohl die Verfettung als auch der Muskelfleischanteil werden gemessen bzw. geschätzt, wodurch das Ultraschallgerät einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Schweinezucht beiträgt (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Wichtiges Einsatzgebiet des

Ultraschallgerätes ist die Auto-FOM-Messung der Schlachtkörper. Ein großer Vorteil der Auto-FOM-Messung ist, dass der gesamte Schlachtkörper gescannt wird und somit der Schlachtkörper nicht nur anhand einer Stelle (Kotelett) beurteilt wird (BRØNDUM *et al.*, 1998).

Das Messprinzip des Ultraschallgerätes beruht darauf, dass elektrische Energie in Hochfrequenz-Ultraschallenergie umgewandelt wird. Diese Hochfrequenzwellen durchdringen den Körper solange, bis die Ultraschallwelle einen Übergangsbereich zwischen zwei Geweben mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften erreicht. Sobald die Welle auf ein solches Gewebe trifft, wird ein Teil der Ultraschallenergie reflektiert und vom Messkopf aufgenommen. Diese Ultraschallenergie wird verstärkt und kann am Monitor eines Oszilloskops betrachtet werden (MITCHELL & SCHOLZ, 2001; SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Sowohl die Zeit bis das Signal zum Schallkopf zurück kommt, als auch die Intensität werden verwendet, um zu erfassen wie weit das reflektierende Gewebe entfernt ist und welche Eigenschaften es besitzt (MITCHELL & SCHOLZ, 2001; STARCK *et al.*, 2001).

**Röntgen-Computer-Tomographie (CT):** Die Computertomographie (CT) basiert auf der indirekten Messung der Schwächung von Röntgenstrahlung (HOFER, 2010) und wurde ursprünglich für die Humanmedizin entwickelt. Mittlerweile findet sie immer mehr Anwendung im Nutztierbereich (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Bei der CT werden zweidimensionale Schnittbilder des Körpers mittels Röntgenstrahlen angefertigt. Die Bilder werden durch eine 360 Grad Rotation der Röntgenröhre um den Patienten erzeugt (JACKSON & THOMAS, 2009; HOFER, 2010). Mit Hilfe einer entsprechenden Rechentechnik können dreidimensionale Bilder erstellt werden indem die Scheibendicke in die 3-D Volumenberechnung einbezogen wird. Die übertragene, abgeschwächte Strahlung wird dann von einem Strahlendetektor, der sich gegenüber der Strahlungsquelle befindet, gemessen. Durch den kontinuierlichen Vorschub des Untersuchungstisches kann die Röntgenröhre ununterbrochen in einer Richtung um den Patienten herum kreisen. Aus diesen Messungen wird das endgültige 3D-Bild mittels Computer erstellt (JACKSON & THOMAS, 2009; HOFER, 2010). Die Aufnahmen des Körperinneren sind den Aufnahmen der Magnetresonanztomographie ähnlich. Generell haben die CT-Bilder einen guten Kontrast zwischen Knochen- und Weichgewebe, sie bieten jedoch im Vergleich zur MRT nicht die detaillierte Darstellung von Unterschieden zwischen verschiedenen Geweben und Organen,



die dem fettfreien Magergewebe zuzuordnen sind (MITCHELL & SCHOLZ, 2001; SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Ein weiterer Nachteil der Computertomographie ist die Strahlenbelastung für den Patienten (JACKSON & THOMAS, 2009).

**Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT):** wird unter dem Punkt 2.6 ausführlich erläutert

**Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA):** wird unter dem Punkt 2.7 ausführlich erläutert

### 2.5.2 Gewebe Interaktion

**Bioelektrische Impedanz (BIA):** Die bioelektrische Impedanzmessung ist eine Methode zur Schätzung des Körperwasseranteils. Diese Technik findet seit einigen Jahren Anwendung im Humanbereich, in Form der Körperfettwagen (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Das Prinzip der Messung beruht darauf, dass die elektrische Leitfähigkeit des Körpers hauptsächlich über den wässrigen Anteil des Körpers bestimmt wird (VAN MARKEN LICHTENBELT, 2001). An ein biologisches System wird ein schwacher Wechselstrom angelegt, so dass ein Spannungsabfall bzw. eine Impedanz messbar ist. Elektrolytreiches Wasser hat die geringste Impedanz, Fett und Knochenmineral die höchste. Es werden zwei Elektroden-Sets an definierten Positionen des Körpers angelegt. Mithilfe der Körpermasse, der Distanz der Messelektroden und der Impedanz kann auf die fett-freie Masse zurückgeschlossen werden (MITCHELL & SCHOLZ, 2001, 2009). Die Messgeräte sind preiswert, einfach zu bedienen und leicht transportierbar, weswegen sie zum Teil auch beim landwirtschaftlichen Nutztier eingesetzt werden (VAN MARKEN LICHTENBELT, 2001; SCHOLZ & BAULAIN, 2009).

**Total Body Electrical Conductivity (TOBEC):** TOBEC ist eine Methode mit der die fett-freie Masse schnell und einfach bestimmt werden kann (MITCHELL & SCHOLZ, 2001). Das Messprinzip ist ähnlich der BIA, außer dass hier anstelle der Elektroden eine elektromagnetische Spule die Basis für die Messung der Energieabsorption bildet (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Die Energieabsorption, die durch TOBEC produziert wird, ist eine Funktion des Volumens der fett-freien Masse und wird ermittelt durch den Impedanzunterschied der Spule während sie mit dem Objekt bestückt bzw. leer ist (MITCHELL & SCHOLZ, 2001).

**Nahinfrarot-Interaktanz (NIR):** Organische Stoffe z.B. Fett oder Protein absorbieren Licht in unterschiedlichen Wellenlängen. Aufgrund der unterschiedlichen Lichtabsorption kann eine

spektroskopische Bestimmung der Körperzusammensetzung (Fettmasse und fettfreie Masse) erfolgen. Im Nutztierbereich wird die NIR nicht routinemäßig zur Bestimmung der Körperzusammensetzung eingesetzt (MITCHELL et al., 2005; SCHOLZ & BAULAIN, 2009).

### 2.5.3 Verdünnungsmethoden

Wasser hat einen relativ fixen Anteil (74,5%) an der fett-freien Körpermasse. Durch dieses Prinzip kann die Körperzusammensetzung mittels Verdünnungsmethoden bestimmt werden. Der zu untersuchende Körper bekommt ein Indikatormittel oral oder intravenös eingegeben, welches sich gleichmäßig in einem Kompartiment des Körpers verteilen soll. Anschließend werden Stichproben (z.B. Blut) entnommen und die Konzentration des Indikators gemessen. Nach dem Verdünnungsprinzip wird dann der Körperwassergehalt berechnet. Um vom Gesamtkörperwassergehalt auf die anderen Kompartimente wie Fett oder Protein zu schließen, ist eine Validierung der Beziehung zu den Referenzwerten für die zu untersuchende Spezies in Abhängigkeit vom physiologischen Status nötig (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Die grobgewebliche Ganzkörperzerlegung oder die chemische Analyse könnten als Referenzmethode für die indirekte Bestimmung der Körperzusammensetzung dienen (SPEAKMAN et al., 2001; SCHOLZ & BAULAIN, 2009).

### 2.5.4 Analysen auf Atomniveau

**Gesamtkörper Kalium ( $^{40}\text{K}$ ):** Mit der  $^{40}\text{K}$ -Messung kann die Körperzellmasse oder die Magergewebemasse am lebenden Organismus bestimmt werden. Eine Abschirmung der Hintergrundstrahlung ist Voraussetzung für eine genaue Messung (MITCHELL & SCHOLZ, 2001). „Die Bestimmung des Gesamtkörpergehaltes an Kalium – basierend auf der Gesamtkörper-Konzentration des natürlich vorkommenden  $^{40}\text{K}$ -Isotops- kann für die Schätzung der Gesamtkörperzellmasse oder der Gesamtkörper-Magerweichgewebe verwendet werden“(SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Diese Technik ist jedoch nur an wenigen Orten verfügbar und recht kostspielig (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Untersuchungen mittels  $^{40}\text{K}$  am Schwein bewiesen die Methode als eine schnelle, genaue, zerstörungsfreie Methode für die Bestimmung der Körperzusammensetzung von lebenden Schweinen und Schlachtkörpern (SIEMENS et al., 1991).

**Neutronenaktivierungsanalyse (NA):** Mit der Neutronenaktivierungsanalyse wird eine multi-elementare Analyse des Körpers durchgeführt werden. Der ganze Körper wird mit Neutronen „beschossen“. Durch diesen Neutronenbeschuss werden die Körperelemente Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Kalzium, Phosphor, Natrium und Chlor zu instabilen Isotopen. Kehren die Elemente in ihren stabilen Zustand zurück, emittieren sie Gammastrahlung mit spezifischen Energieniveaus. Im Nutztierbereich wird diese Methode aufgrund des hohen Kostenaufwandes und den dafür benötigten Experten bzw. den relativ langen Untersuchungszeiten kaum eingesetzt (MITCHELL & SCHOLZ, 2001; SCHOLZ & BAULAIN, 2009).

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Methoden der indirekten Messung der Körperzusammensetzung mit deren Vor- und Nachteilen.

**Tabelle 4: Vergleich von verschiedenen Methoden zur indirekten Messung der Körperzusammensetzung nach SCHOLZ und BAULAIN (2009)**

Methodik	Messung	Vorteile	Nachteile
US	Bildgebung von subkutanem Fett und darunter liegender Muskulatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ portabel</li> <li>▪ größte Datenbasis für Nutztieranwendungen (Rind, Schwein, Schaf)</li> <li>▪ flexibel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ moderate Preise</li> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> </ul>
MRT	Bildgebung von Fett-, Muskel und Weichgeweben	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genau, multiplanare, dreidimensionale Darstellung</li> <li>▪ sehr gute Weichgewebe-differenzierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zum Teil hohe Investitions- und laufende Kosten (nicht bei Niederfeldmagneten)</li> <li>▪ technische Experten und Sedation nötig, relativ langsam</li> </ul>
CT	Bildgebung von Fett-, Muskel- und Knochengewebe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ genau, multiplanare, dreidimensionale Darstellung</li> <li>▪ sehr gute Differenzierung von Fett-, Muskel- und Knochengewebe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ teuer</li> <li>▪ technische Experten und Sedierung nötig</li> <li>▪ Strahlenbelastung</li> </ul>

DXA	Fett, Magerweichgewebe, Knochenmineral und Gesamtgewebemasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ genaue, einfache, schnelle Datenauswertung</li> <li>▪ regionale Ergebnisse möglich</li> <li>▪ niedrige laufende Kosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ relativ moderate Preise</li> <li>▪ Sedierung nötig</li> <li>▪ geringfügige Strahlenbelastung</li> </ul>
BIA	Magerweichgewebe (Muskelmasse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ einfach</li> <li>▪ schnell</li> <li>▪ preiswert</li> <li>▪ portabel</li> <li>▪ weiter Körpergrößenbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> </ul>
TOBEC	Magerweichgewebe (Muskelmasse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ einfach</li> <li>▪ schnell</li> <li>▪ automatisierbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> <li>▪ Sedierung für die meisten Tiere nötig</li> <li>▪ moderate Preise</li> </ul>
NIR	Fettmasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ einfach</li> <li>▪ schnell</li> <li>▪ preiswert</li> <li>▪ portabel</li> <li>▪ weiter Körpergrößenbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> </ul>
D <sub>2</sub> O	Gesamtkörperwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ weiter Körpergrößenbereich</li> <li>▪ einfach</li> <li>▪ preiswert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ langsam</li> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> </ul>
<sup>40</sup> K	Gesamtkörperkalium (Zellmasse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ weiter Körpergrößenbereich</li> <li>▪ schnell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ teuer</li> <li>▪ Genauigkeit abhängig von Referenzstudie</li> </ul>
NA	Diverse Elemente (z.B. Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ genau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sehr teuer</li> <li>▪ Strahlenbelastung</li> <li>▪ technische Experten und Sedierung nötig</li> </ul>

## 2.6 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) oder auch Kernspintomographie ist ein Verfahren zur nicht invasiven bildlichen Darstellung des Körperinneren. Es können überlagerungsfreie Schichtbilder erzeugt werden, die sich durch einen hohen Weichgewebekontrast auszeichnen (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Ein wesentlicher Vorteil der MRT ist, dass keine ionisierende Strahlung benötigt wird. Bisher ist nicht bekannt, dass die Magnetfelder und Hochfrequenz Pulse, die bei der MRT verwendet werden, Schäden verursachen (JACKSON & THOMAS, 2009). Die Vor- und Nachteile der MRT sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

### 2.6.1 Aufbau einer magnetresonanztomographischen Anlage

Eine MR-Anlage besteht aus einem Tomographen (siehe Abbildung 9), einem Computersystem und der Bedienkonsole. Der Tomograph besteht aus der Patientenliege, dem Hauptmagneten, den Spulen und dem Hochfrequenzsystem. Das Computersystem steuert die Magneten, die Patientenliege und die Sende- und Empfangsspule. Die Bedienkonsole dient der Einstellung der Untersuchungsparameter und des Untersuchungsmodus, sowie der Eingabe der Patientendaten (HENDRIX, 2003).



Abbildung 9: Magnetresonanztomograph des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim

## Literatur

Eine Einteilungsmöglichkeit der MR-Geräte kann über die Systembauweise durchgeführt werden. Es werden:

- röhrenförmige Systeme
- offene Systeme und
- Spezialsysteme unterschieden.

Bei einem **röhrenförmigen System** wird innerhalb einer Röhre das Magnetfeld erzeugt. Der Vorteil an dieser Bauweise ist das starke Magnetfeld mit einer dementsprechend hohen Homogenität. (HENDRIX, 2003).

Ein **offenes System** hat den Vorteil dass bis zu drei Seiten zum Patienten zugänglich sind und somit auch Bewegungsstudien der Gelenke durchgeführt werden können. Nachteil ist die geringere Feldstärke und Homogenität aufgrund der offenen Bauweise (HENDRIX, 2003).

**Spezialsysteme** werden vor allem in der Humanmedizin für spezielle Untersuchungen an den Extremitäten und Gelenken oder in der Forschung für experimentelle Untersuchungen angewandt (HENDRIX, 2003).

### Der Magnet:

Der Magnet ist das wichtigste Bauteil des MRT-Gerätes. Die Stärke des Magnetfeldes wird in Tesla (T) oder Gauss (G) angegeben. 1 Tesla entspricht 10.000 Gauss (SCHILD, 1997). Die Feldstärke der MR-Geräte liegt zwischen 0,2 und 11,75 Tesla ([HTTP://PHYS.ORG/NEWS/2013-10-WORLD-POWERFUL-MRI-ONLINE.HTML](http://phys.org/news/2013-10-world-powerful-mri-online.html), 2013). Vorteil einer hohen Feldstärke ist die bessere räumliche Auflösung. Somit eignen sich Geräte mit hoher Feldstärke vor allem für spektroskopische Untersuchungen. Geräte mit geringerer Feldstärke hingegen bieten meist einen besseren Gewebekontrast und erfordern niedrigere Anschaffungs- und Betriebskosten (SCHILD, 1997).

Das Magnetfeld muss äußerst homogen sein, da die Homogenität direkt die Präzessionsfrequenz bestimmt. Ist das Magnetfeld nicht homogen, kommt es zu Verzerrungen in der Schichtebene. Die Homogenität eines Magnetfeldes lässt sich durch geeignete elektrische oder mechanische Einstellungen verbessern. Dieser Vorgang wird als Trimmung oder „shimming“ bezeichnet (SCHILD, 1997). Es wird zwischen einem passivem

und einem aktivem Shim unterschieden. Beim passiven Shim werden kleine Eisenplatten im Magneten angebracht, sodass inhomogene Bereiche und Verzerrungen ausgeglichen werden. Somit wird das Gerät den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Beim aktiven Shim wird über sogenannte Shim-Spulen justiert. Durch Abgeben von kleinen statischen Strömen mit unterschiedlicher Amplitude und Polarität werden kleine Magnetfelder erzeugt, welche eine geringe Inhomogenität des Hauptfeldes korrigieren sollen (HENDRIX, 2003).

Unterschiedliche Typen von Magneten sind (SCHILD, 1997):

- Permanentmagneten
- Elektromagneten/Widerstandsmagneten
- Supraleitende Magneten

**Permanentmagneten** sind ständig magnetisch und benötigen keine externe Energiezufuhr und haben somit niedrige Betriebskosten. Die erreichbare Feldstärke ist allerdings auf 0,5 Tesla begrenzt (SCHILD, 1997).

Bei den **Elektromagneten** wird ein elektrischer Strom durch eine Drahtspule geleitet und erzeugt ein Magnetfeld. Das Magnetfeld ist nur so lange aufrecht, wie die Drahtspule von Strom durchflossen wird. Daher wird elektrische Energie benötigt. Ein weiterer Nachteil ist, dass sich die Magneten durch den fließenden Strom erwärmen und somit ständig gekühlt werden müssen. Dafür können mit Elektromagneten höhere Feldstärken erzielt werden als mit Permanentmagneten. Neuere Eisenkern- (Hybrid) Elektromagneten besitzen Eigenschaften von sowohl Elektro- als auch von Permanentmagneten und können die Vorteile von beiden Systemen kombinieren (SCHILD, 1997).

Heutzutage werden vor allem **Supraleitende Magneten** für die MRT eingesetzt. Sie werden ebenfalls mit elektrischer Energie betrieben, verfügen aber über einen speziellen Stromleiter, der auf supraleitende Temperaturen (-269 Grad Celsius) gekühlt wird. Bei diesen tiefen Temperaturen verlieren die stromführenden Drähte ihren Widerstand. Zur Kühlung der Magneten werden Kryogene/Tieftemperaturgase wie flüssiges Helium oder flüssiger Stickstoff verwendet (SCHILD, 1997; WEISHAUPT *et al.*, 2009). Steigt jedoch die Temperatur über die supraleitende Temperatur, geht die Supraleitfähigkeit verloren und das Tieftemperaturgas verkocht. Vorteil dieser Anlagen sind die hohen Magnetfeldstärken und

die hervorragende Homogenität des Magnetfeldes. Nachteil der supraleitenden Anlagen sind die hohen Kosten (SCHILD, 1997).

### Die Spule:

Zur Einstrahlung des Hochfrequenzimpulses werden Hochfrequenz-Spulen verwendet. Die Spule regt die Protonen an und empfängt das erzeugte Signal. Entweder es wird für das Aussenden und Empfangen dieselbe Spule verwendet oder es werden verschiedene Spulen verwendet. Schild (1997) unterscheidet zwischen:

- Volumenspulen
- Trimmspulen/Shim-Spulen
- Gradientenspulen
- Oberflächenspulen

**Volumenspulen** werden in jeder MR-Anlage verwendet, sie umgeben den darzustellenden Teil des Körpers vollständig. Die Volumenspulen sollten der Körpergröße des Patienten entsprechen. Sie ist als Sender des Hochfrequenz-Impulses wichtig und bei größeren Körperregionen empfängt sie auch das Signal. Die Kopfspule hingegen arbeitet nur als Empfängerspule, die empfangenen Frequenzen werden von der Körperspule gesendet.

**Trimmspulen/Shim-Spulen** werden zum Korrigieren von Inhomogenitäten verwendet.

**Gradientenspulen** werden eingesetzt um das Magnetfeld gezielt zu verändern. Dies geschieht, indem die Gradientenspulen zusätzliche lineare elektromagnetische Felder erzeugen. Somit sind eine Schichtauswahl und eine räumliche Information möglich. Es gibt drei Sätze von Gradientenspulen, für jede Raumrichtung eine. Während einer MR-Untersuchung stoßen diese Spulen gegen ihre Halterungen und verursachen somit das hörbare typische MR-Geräusch.

**Oberflächenspulen** sind (in Kombination mit o.g. Volumenspulen als Sender) reine Empfängerspulen und werden direkt auf die zu untersuchende Region gelegt. Diese Spulen eignen sich lediglich für Untersuchungen von oberflächlichen Körperregionen (SCHILD, 1997).

Bei der Installation und der Anwendung eines MRT sind folgende Punkte zu beachten:



Aufgrund des starken Magnetfeldes kann eine MR-Anlage nicht an jedem beliebigen Ort aufgestellt werden, da das Magnetfeld über die Anlage hinaus wirkt. Metallgegenstände können angezogen und elektrische Geräte wie Computer, Monitore, Röntgengeräte gestört werden. Des Weiteren gibt es auch externe Einflüsse die auf eine MR-Anlage wirken. Um fremde Radiowellen vom Gerät fern zu halten muss ein MR-Gerät durch einen Faraday'schen Käfig abgeschirmt werden.

Bei der Bedienung muss beachtet werden, dass magnetisierbare Materialien wie zum Beispiel Eisen (Scheren, Klemmen usw.) vom Feld des MR-Magneten angezogen werden und somit eine potenzielle Gefahr für den Patienten und das Personal darstellen. Des Weiteren müssen mögliche Metallteile im Patienten abgeklärt werden, die eine Gefährdung darstellen könnten, wie zum Beispiel Metallsplitter oder Schrauben. Besonders vorsichtig sollten Patienten mit Herzschrittmacher oder Hörgeräten sein. Die internationale Grenze für Herzschrittmacher liegt bei 0,5 mT (milli Tesla).

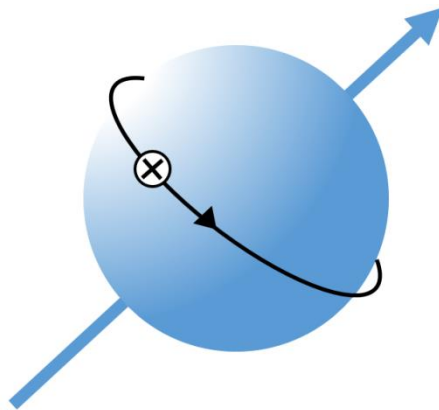
Die Funktionsfähigkeit von Uhren, Beatmungsgeräten, Infusionspumpen und anderen Geräten kann in Magnetnähe gestört werden. Ebenso können Scheckkartencodierungen in Magnetnähe gelöscht werden (HENDRIX, 2003).

### 2.6.2 Funktionsweise der Magnetresonanztomographie

Die Funktionsweise eines Magnetresonanztomographen beruht darauf, dass ein Patient in einen Magneten gebracht wird, eine elektromagnetische (Radio-) Welle für kurze Zeit eingestrahlt und danach wieder ausgeschaltet wird. Daraufhin sendet der Patient (bzw. die angeregten Wasserstoffatomkerne des Patienten) ein Signal aus, das empfangen wird und zur Bildrekonstruktion dient (SCHILD, 1997).

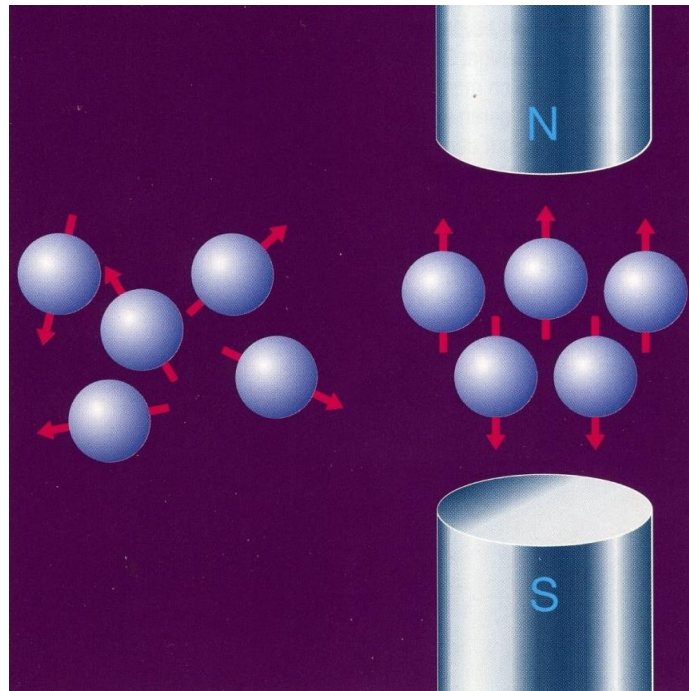
Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und einer Elektronenhülle. Wasserstoff ist das häufigste Element im Körper. Es besteht aus einem einzigen, positiv geladenem Proton. Die magnetischen Eigenschaften der  $^1\text{H}$  Wasserstoffatomkerne bzw. Protonen werden zur Bildgebung der MRT genutzt. Die zwei Hauptvorteile des Wasserstoffes sind, dass es das häufigste Element im menschlichen Körper ist und andererseits der empfindlichste

Bestandteil im Körper. Die wichtigste Eigenschaft der Wasserstoffatomkerne für die MRT ist der Spin, welches eine quantenmechanische Eigenschaft atomarer Teilchen ist (HENDRIX, 2003). Ein Proton hat einen Spin, d. h. es rotiert um seine eigene Achse (siehe Abbildung 10), somit bewegt sich auch seine elektrische Ladung. Diese sich bewegend elektrische Ladung ist elektrischer Strom, der von einem Magnetfeld begleitet wird. Ein Proton hat also ein eigenes Magnetfeld und kann als kleiner Stabmagnet angesehen werden (SCHILD, 1997; WEISHAUPT *et al.*, 2009).



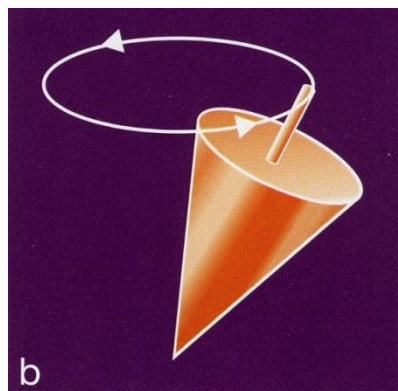
**Abbildung 10: Protonen besitzen eine positive Ladung; modifiziert nach SCHILD (1997)**

Wird ein Patient dem Magnetfeld eines Magnetresonanztomographen ausgesetzt, richten sich die Protonen im externen Magnetfeld aus (siehe Abbildung 11). Diese Ausrichtung kann parallel oder antiparallel erfolgen. Bevorzugt wird die parallele Ausrichtung zum Magnetfeld, da sie energetisch günstiger ist. Bei ca. 1 Million Protonen sind etwa 7 Protonen mehr parallel als antiparallel ausgerichtet (SCHILD, 1997).



**Abbildung 11:** Sobald Protonen einem starken externen Magneten ausgesetzt sind, ordnen sie sich entweder parallel oder antiparallel zum externen Magnetfeld an; aus SCHILD (1997).

Die ausgerichteten Protonen führen eine Bewegung durch, die einem rotierenden Kreisel ähnelt (siehe Abbildung 12). Diese Bewegung nennt man Präzession. Je stärker das Magnetfeld ist, in dem sich die Protonen befinden, desto stärker ist die Präzessionsgeschwindigkeit und -frequenz (SCHILD, 1997; WEISHAUPT *et al.*, 2009).



**Abbildung 12:** Die Protonen führen in einem starken Magnetfeld eine Kreiselbewegung aus, welche als Präzession bezeichnet wird; aus SCHILD (1997).

Die antiparallelen und parallelen Protonenkräfte heben sich gegeneinander auf. Es existieren mehr parallele als antiparallele Protonen auf einem niedrigeren Energieniveau. Dadurch

## Literatur

bleibt eine Anzahl von Protonen übrig deren Magnetkräfte nicht aufgehoben werden (SCHILD, 1997). Die Anzahl der Überschuss-Protonen hängt von mehreren Faktoren ab (HENDRIX, 2003):

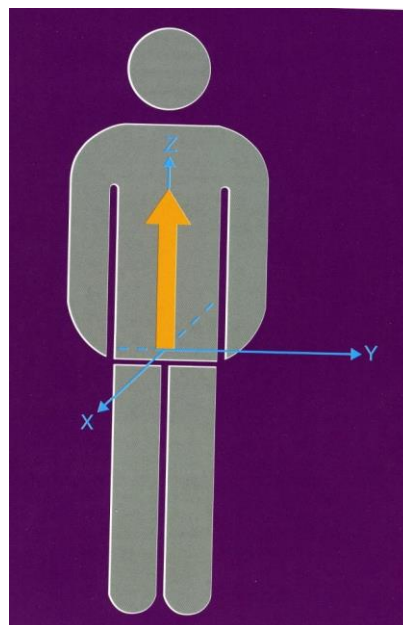
Die Anzahl der Überschuss-Protonen steigt mit:

- der Anzahl der Protonen in einer Volumeneinheit, der sogenannten Protonendichte
- mit der Stärke des äußeren Magnetfeldes.

Die Anzahl der Überschuss-Protonen sinkt:

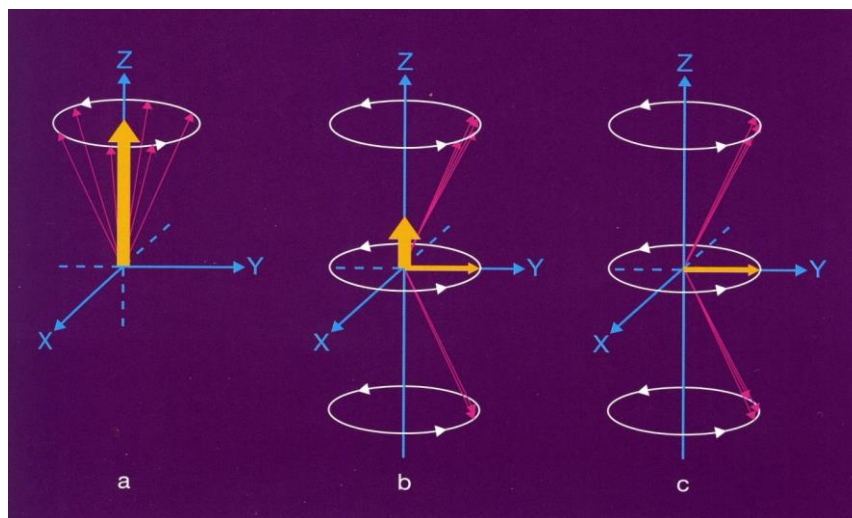
- mit steigender Temperatur.

Wird der Patient dem Magnetfeld des MRT ausgesetzt, wird der Patient selbst zum Magneten und hat sein eigenes Magnetfeld, das längs des externen Magnetfeldes verläuft (siehe Abbildung 13). Dieses Magnetfeld kann nicht direkt gemessen werden, da es längs – longitudinal- ausgerichtet ist (SCHILD, 1997).



**Abbildung 13: Patient in einem starkem Magnetfeld, er wird selbst zum Magneten, ein neuer magnetischer Kraftvektor induziert, der entlang des externen Magnetfeldes ausgerichtet ist; aus SCHILD (1997)**

Einerseits bringt die Radiowelle einige Protonen auf ein höheres Energieniveau und andererseits bewirkt sie eine Protonenpräzession in Phase, also im Gleichschritt. Somit nimmt die Longitudinalmagnetisierung ab und eine Transversalmagnetisierung entsteht. In einem starken externen Magnetfeld entsteht ein neuer Magnetvektor im Patienten längs des externen Feldes (Abbildung 14, Teil a). Der Hochfrequenzimpuls erzeugt eine neue Transversalmagnetisierung, während die Longitudinalmagnetisierung abnimmt (Abbildung 14 Teil b). Je nach Hochfrequenzimpuls kann es sogar zu einer vollständigen Auslöschung der Longitudinalmagnetisierung kommen (Abbildung 14 Teil c) oder einfach zur Richtungsumkehr.



**Abbildung 14: Umkehr der Longitudinalmagnetisierung in eine Transversalmagnetisierung; aus SCHILD (1997)**

### T1 und T2 Konstante:

Werden die Hochfrequenzimpulse wieder abgeschaltet, geschehen zwei Phänomene gleichzeitig: Die Longitudinalmagnetisierung nimmt zu. Diese longitudinale Relaxation wird durch die Zeitkonstante T1, die sogenannte longitudinale Relaxationszeit beschrieben. Gleichzeitig nimmt die transversale Magnetisierung ab und verschwindet schließlich ganz, sie wird durch die Zeitkonstante T2 beschrieben (SCHILD, 1997).

T<sub>1</sub> wird als die Zeit definiert, nach der 63 % der ursprünglichen Longitudinalmagnetisierung wieder erreicht sind. T<sub>1</sub> ist abhängig von der Gewebezusammensetzung, -struktur und seiner Umgebung. Wasser hat eine lange, Fett eine kurze T<sub>1</sub>. Die Carbonylverbindungen an den Enden der Fettsäuren ermöglichen eine effektive Übertragung von Energie. Des Weiteren

## Literatur

verlängert sich die  $T_1$  mit zunehmender Feldstärke, da aufgrund der höheren Larmorfrequenzen die Energieabgabe nur langsam erfolgen kann. Die  $T_1$  beträgt etwa 300 bis 2000 msec (SCHILD, 1997).

$T_2$  wird als die Zeit definiert, nach der die Transversalmagnetisierung auf 37 % des ursprünglichen Wertes zurückgegangen ist. Die  $T_2$  von Wasser ist länger als die  $T_2$  von Flüssigkeiten, die größere Moleküle enthalten und somit schneller außer Phase geraten. Die  $T_2$  beträgt etwa 30 bis 150 msec (SCHILD, 1997).

### Bildkontrast:

Die Helligkeit eines MR-Bildes wird von drei Parametern bestimmt (HENDRIX, 2003; WEISHAUPT *et al.*, 2009):

- Protonendichte: dies entspricht der Anzahl anregbarer Spins pro Volumeneinheit.
- $T_1$  Zeit ( $T_1$ ) eines Gewebes: Zeit in der sich die Spins von einer Anregung „erholt“ haben und wieder anregbar sind. Somit wird indirekt die Signalintensität beeinflusst. Der Einfluss von  $T_1$  auf den Bildkontrast kann variiert werden. Wird der Kontrast hauptsächlich von  $T_1$  beeinflusst nennt man diese Bilder  $T_1$ -gewichtete Bilder ( $T_1w$ ); (WEISHAUPT *et al.*, 2009).
- $T_2$  Zeit ( $T_2$ ) eines Gewebes: Zeit bis das MR-Signal nach einer Anregung abklingt und hat somit wesentlichen Einfluss auf den Bildkontrast. Dementsprechend werden Bilder, deren Kontrast vor allem  $T_2$  abhängig ist, entsprechend als  $T_2$ -gewichtet bezeichnet (WEISHAUPT *et al.*, 2009).

Diese drei Merkmale sind spezifisch für unterschiedliche Gewebe. Deswegen können Bilder mit unterschiedlichem Gewebe-zu-Gewebe-Kontrast angefertigt werden, je nachdem welche Parameter in einer MR-Messesequenz betont werden. Somit hat die MRT einen großen Vorteil gegenüber anderen Diagnoseverfahren. Bereits ohne Kontrastmittel ist es möglich, Gewebe aufgrund spezifischer Merkmale zu unterscheiden, die zum Beispiel in der Röntgen-Computertomographie (CT) praktisch nicht unterscheidbar sind (WEISHAUPT *et al.*, 2009).

### Repetitionszeit TR:

Um ein MR-Bild zu erhalten, muss eine Gewebeschicht mehrmals nacheinander angeregt und gemessen werden. Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Anregungen derselben

Schicht wird **Repetitionszeit (TR)** genannt. Wird die TR kurz gewählt, so wird der Bildkontrast wesentlich von T1 beeinflusst. Ein Gewebe mit kurzer T1 relaxiert rasch und kann nach erneuter Anregung wieder "viel" Signal abgeben, diese Gewebe erscheinen somit (in der Regel) hell im Bild. Gewebe mit langer T1 sind zum gleichen Zeitpunkt weniger relaxiert, erzeugen "weniger" Signal und erscheinen im Bild dunkel. Somit kann durch die Wahl der TR die T1 Wichtung beeinflusst werden (WEISHAUPT *et al.*, 2009):

- Kurze TR → starke T1 Gewichtung
- Lange TR → geringe T1 Gewichtung

### Echozeit TE:

Die **Echozeit (TE)** bezeichnet das Zeitintervall zwischen der Anregung und der Messung des MR-Signals (DOCCHECKFLEXICON, 2015). Die TE bestimmt den T2-Einfluss auf den Bildkontrast. Wird eine kurze TE gewählt (< 30 msec), so sind die Signalintensitätsunterschiede klein. Die T2-Relaxation konnte nur kurz ablaufen, das Signal ist noch intensiv, somit ist die T2-Gewichtung eines solchen Bildes gering. Wird hingegen eine lange TE gewählt, sodass sie im Bereich der T2-Zeiten des Gewebes liegt, so manifestieren sich deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Geweben. Ein Gewebe mit einer kurzen T2 hat zu diesem Zeitpunkt kaum noch Signal und erscheint auf dem Bild dunkel. Im Gegensatz dazu hat ein Gewebe mit einer langen T2 noch "viel" Signal und erscheint deswegen im Bild hell. Liquor zum Beispiel erscheint auf T2-gewichteten Bildern heller als die Hirnsubstanz, weil Liquor, wie Wasser, eine lange T2 besitzt. Somit wird durch die Wahl der Echozeit TE (Zeit zwischen den "Echos") die T2 Wichtung bestimmt (WEISHAUPT *et al.*, 2009):

- Kurzes TE → geringe T2 Gewichtung
- Langes TE → starke T2 Gewichtung

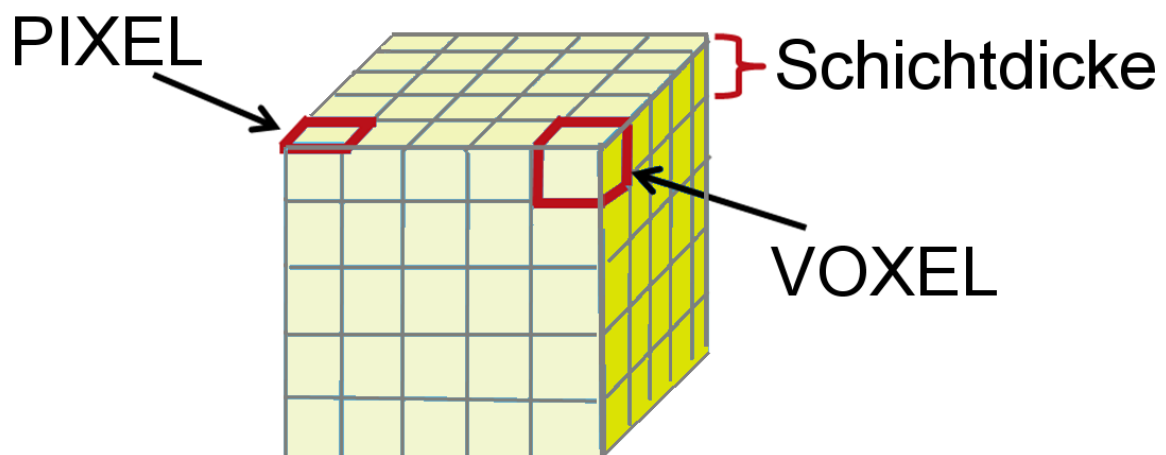
Tabelle 5 zeigt Beispiele für die Signalintensität verschiedener Gewebe.

**Tabelle 5: Signalintensität verschiedener Gewebe in T1- und T2- gewichteten Bildern für lebende Probanden; modifiziert nach Weishaupt *et al.* (2009)**

Gewebe	Im T1- gewichteten Bild	Im T2-gewichteten Bild
Fett	Hell	Hell
Wässrige Flüssigkeit	Dunkel	Hell
Tumor	Dunkel	Hell
Entzündung	Dunkel	Hell
Muskel	Dunkel	Dunkel
Bindegewebe	Dunkel	Dunkel
Luft	Kein Signal	Kein Signal

### 2.6.3 Vom Signal zum Bild

Jedes MR-Bild besteht aus vielen einzelnen Bildelementen, PIXEL genannt. Jedes PIXEL besitzt einen bestimmten Grauwert. Als Ganzes betrachtet ergibt diese Grauwertmatrix eine bildliche Darstellung. Das Pixel im Bild repräsentiert die Voxel in der Schicht (HENDRIX, 2003). Zum leichteren Verständnis ist der Zusammenhang in Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 15: Verhältnis Pixel zu Voxel sowie der Zusammenhang mit der Schichtdicke**



Ein Bild wird umso schärfer und detaillierter je mehr Pixel es hat. Mehr Pixel bzw. Voxel bedeuten eine höhere Auflösung. Durch den MR-Messvorgang wird das Bild nicht direkt gewonnen. Aus den empfangenen MR-Signalen werden zunächst Rohdaten erzeugt. Aus diesen Rohdaten berechnet der Computer das Bild. Bevor das verstärkte MR-Signal zur Bildberechnung weiterverwendet werden kann, muss es noch digitalisiert werden. Ein Analog-Digital-Wandler rechnet das analoge Signal in digitale Einzelwerte um. Erst mit diesen digitalisierten Messwerten kann das Computersystem arbeiten (HENDRIX, 2003).

### 2.6.4 Artefakte im magnetresonanztomographischen Bild

Artefakte sind Abbildungsfehler die zum Teil nicht vermeidbar sind. Auftreten können:

**Bewegungs- und Flussartefakte:** MR-Aufnahmen dauern einige Minuten, deshalb sind die meisten Artefakte auf Bewegungen während der Aufnahme zurückzuführen. In der Praxis sind zwei Arten von Bewegungsartefakten von Bedeutung (WEISHAUPT *et al.*, 2009):

- Artefakte, die durch Atmung, Peristaltik oder den Herzschlag bedingt sind
- Artefakte, die durch einen pulsatilen Fluss von Blutgefäßen oder der Liquorzirkulation bedingt sind.

**Phase Wrapping:** Der Grund für diesen Abbildungsfehler liegt in den anatomischen Strukturen bedingt, die sich außerhalb des gewählten Bildausschnittes befinden (WEISHAUPT *et al.*, 2009).

**Suszeptibilitätsartefakte:** Hier wird das lokale Magnetfeld durch metallische Gegenstände verzerrt. Der Bereich der Aufnahme rund um den Gegenstand wird beeinträchtigt oder sogar geschwärzt. Prothesen, chirurgische Clips oder sogar Wimperntusche kommen als Störgegenstände in Frage (JACKSON & THOMAS, 2009).

**Hochfrequenzartefakte:** Diese Artefakte sind auf eine Interferenz mit externen Frequenzen zurückzuführen. Sie können minimiert werden, indem ein isolierender Faradayscher-Käfig, ein Drahtgeflecht zur Abschirmung gegen Radiofrequenzen um das MRT gebaut wird (JACKSON & THOMAS, 2009).

**Chemische Verschiebung:** Dieses Artefakt tritt an Grenzflächen zwischen Fettgewebe und Wasser auf und zeichnet sich als dunkle Linie um eine Struktur herum ab. Ursache für dieses Phänomen ist die unterschiedliche Relaxation von Protonen in Fettgewebe und im Wasser. Vor allem um die Bauchorgane werden solche Artefakte häufig beobachtet (JACKSON & THOMAS, 2009).

**Trunkations- oder Verstümmelungsartefakte:** Sie werden auch als Gibbs-Artefakte bezeichnet und stellen sich als parallele Streifen um einzelne Objekte mit hohem Kontrast dar. Das Erscheinungsbild lässt sich mit Wellenbewegungen vergleichen, die hervorgerufen werden, wenn ein Stein ins Wasser geworfen wird (JACKSON & THOMAS, 2009).

### 2.6.5 Einsatz der Magnetresonanztomographie in der Tierzucht

In der Tierzuchtforschung wird die MRT hauptsächlich zur Bestimmung der geweblichen Zusammensetzung von lebenden Tieren und Schlachtkörpern eingesetzt. Mithilfe von speziellen Bildauswertungsmethoden ermöglicht die MRT eine äußerst genaue Bestimmung der Körperzusammensetzung sowohl am lebenden Tier als auch am Schlachtkörper. Mittels MRT-Untersuchung können direkte Messungen von Gewebevolumina und eine exakte Trennung von Weichgeweben durchgeführt werden. Dadurch kann die MRT-Untersuchung die sehr zeit- und arbeitsaufwendige grobgewebliche Zerlegung als Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung ersetzen. Wiederholte Messungen der selben Probanden geben eine genaue Auskunft über die Entwicklung und das Wachstum von Geweben und Organen (BAULAIN & HENNING, 2001).

Des Weiteren ist die MRT als eine nicht invasive Methode geeignet, die Schlachtkörperzusammensetzung am lebenden Schwein vorherzusagen. Somit kann eine Eigenleistungsprüfung, bezogen auf die Schlachtleistung am lebenden Körper durchgeführt werden, was wiederum erheblich Kosten für die Leistungsprüfanstalten einsparen könnte (BERNAU, 2011).

An folgenden Tierarten wurde die MRT in der Tierzucht bereits eingesetzt:

- ✓ Schweine: (SCHOLZ et al., 1992 ), (BAULAIN et al., 1996), (MITCHELL et al., 2001a), (BAULAIN et al., 2003), (MONZIOLS et al., 2005), (BAULAIN et al., 2010), (BERNAU, 2011), (KREMER et al., 2012), (KREMER et al., 2013)
- ✓ Schafe: (STREITZ et al., 1995), (KORN et al., 1995), (KREMER, 2013)
- ✓ Geflügel: (MITCHELL et al., 1991), (WIEDERHOLD et al., 1995), (SCOLLAN et al., 1998), (DAVENEL et al., 2000)
- ✓ Kaninchen: (KÖVER et al., 1998), (BINDER, 2003).

### 2.6.6 Einsatz der MRT beim Schwein

BAULAIN & HENNING (2001) bezeichneten die MRT als äußerst genaue Methode zur Ermittlung der Körperzusammensetzung, sowohl am lebenden Tier als auch am Schlachtkörper. Die topographische Untersuchung erfolgte an fünf aussagekräftigen Positionen: Schulter, Brust, Lende, Hüfte und Schinken. Anhand der MR-Bilder wurde der Muskel-, Fett-, und Knochen-Anteil berechnet. Nach der Lebenduntersuchung wurden die Tiere getötet und grobgeweblich zerlegt. Ergebnis der Untersuchung war, dass die MR-Tomographie eine sehr präzise Schätzung der Muskel- und Fettmenge in den drei Gewichtsklassen (20 kg, 50 kg und 90 kg) ermöglicht ( $R^2$  immer  $> 0,89$ ). Der Muskel- und Fettanteil in Prozent ergab gute Schätzergebnisse in den schweren Gewichtsklassen ( $R^2 > 0,8$ ). Lediglich die leichte (20 kg) Gewichtsgruppe zeigte kein hohes Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 0,55$ ;  $SEE = 1,46$ ), was eventuell auf die noch weniger stark ausgeprägte Gewebedifferenzierung zurück zu führen ist (BAULAIN & HENNING, 2001).

MITCHELL *et al.* (2001a) untersuchten 111 Schweine mittels MRT, um die aussagekräftigsten Regionen zur Bestimmung der Körperzusammensetzung zu evaluieren. Die MRT-Volumenergebnisse wurden mit dem Gewicht der Zerlegung verglichen. Der Ausschnitt des Schinkenbereichs erreichte das höchste Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 0,96$ ;  $SEE = 224$  g), gefolgt vom Teilausschnitt des Musculus longissimus ( $R^2 = 0,93$ ;  $SEE = 109$  g). Des Weiteren haben sie festgestellt, dass die Volumina von großen Geweben und Organen die größte Übereinstimmung mit dem Gewicht der Zerlegung hatten (MITCHELL et al., 2001a).

Die von BAULAIN *et al.* (2003) vorgestellten Ergebnisse belegen, dass mit Hilfe der Magnetresonanztomographie die Muskelmasse und der Muskelfleischanteil von

Schweineschlachthälften mit unterschiedlichem Genotyp exakt erfasst werden kann. Es wurden 176 Schweineschlachtkörper untersucht. Die Beziehungen zwischen den MRT-Muskelvolumina und den über die Vollzerlegung bestimmten Muskelmassen weisen sehr hohe Korrelationen ( $r=0,98$ ) auf. Die magere Vaterlinie Pietráin erzielte eine etwas niedrigere aber immer noch hohe Korrelation ( $r=0,94$ ). Somit ist die MRT als Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung beim Schwein geeignet und kann die grobgewebliche Zerlegung ergänzen oder sogar ersetzen (BAULAIN *et al.*, 2003).

THOLEN *et al.* (2003) führten Untersuchungen zur Validierung von drei Methoden zur Beurteilung der Bauchzusammensetzung beim Schwein durch. Insgesamt wurden 398 Schweine untersucht. Es wurden eine Regressionsmethode, eine planimetrische Analyse und eine Ultraschalluntersuchung mittels Auto-FOM-Gerät miteinander verglichen. Die Ergebnisse der drei Untersuchungsmethoden wurden mit den Ergebnissen einer MRT Untersuchung verglichen. Bei der Regressionsmethode dienten die Schlachtkörperergebnisse Muskelfläche und Fettauflage als Berechnungsgrundlage für die Regressionsgleichung. Die planimetrische Analyse bezog sich auf Bilder oder Videos von der Muskel- und Fettfläche zwischen der 13. und 14. Rippe. Die MRT-Bilder des Schweinebauchs waren schwierig auszuwerten. Ergebnis der Untersuchung war, dass die Auto-FOM-Geräte und die planimetrische Analyse von digitalen Bildern ungenauere Ergebnisse erzielten als die linearen Messwerte. Unter Einbeziehung der Ergebnisse der planimetrischen Analyse der digitalen Bilder und der linearen Messwerte in die Regressionsanalyse konnte der Korrelationskoeffizient der 85 kg Pietráin Gruppe von  $R^2 = 0,35$  (RMSE = 3,75) auf  $R^2 = 0,53$  (RMSE = 3,18) gesteigert werden (THOLEN *et al.*, 2003).

BAULAIN *et al.* (2010) untersuchten 202 Schweine unterschiedlicher Rasse und Gewichts, um zu überprüfen wie gut die Schlachtkörperbeschaffenheit mittels MRT vorhergesagt werden kann. Dazu wurden die Schlachtkörperhälften zuerst im MRT auf ihre Muskel- und Fettzusammensetzung untersucht und danach mittels EU-Referenzmethode zerlegt. Für die magere Pietráin-Rasse stellte sich heraus, dass alleine die MRT-Analyse der Schulter ausreicht um den Muskelgehalt des gesamten Schlachtkörpers zu beurteilen. Die Ergebnisse der MRT-Untersuchung verglichen mit den Ergebnissen der Zerlegung wiesen ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 > 0,96$  auf. Somit ist die MRT als geeignete Referenzmethode beim

Schwein zur Schätzung der Körperzusammensetzung bestätigt worden und kann an Stelle der Zerlegung verwendet werden (BAULAIN *et al.*, 2010).

KREMER *et al.* (2012) untersuchten 77 Schweine der Rassen Cerdo Ibérico (Ib), Duroc x Ibérico (Du\_Ib), German Landrace x German Large White = White Sow Lines (WSL), Pietráin x Hampshire (Pi\_Ha), Pietráin x Duroc (Pi x Du) und Pietráin-Duroc x White Sow Lines (PiDU\_WSL) mittels MRT und DXA. Die Autoren verglichen die Muskelfläche und deren Fettauflage zwischen 13. und 14. Rippe der verschiedenen Rassen mittels MRT. Die Ergebnisse zeigten dass die Rasse Ib mit  $46,19 \text{ cm}^2 \pm 4,72$ , die geringste Muskelfläche gefolgt von Du\_Ib mit  $73,58 \text{ cm}^2 \pm 2,78$  aufweist. Gleichzeitig zeigten Tiere mit Ib-Anteilen die größte Fettfläche in dem gemessenen Bereich (Ib:  $37,51 \text{ cm}^2 \pm 2,80$ ; Du\_Ib:  $39,98 \text{ cm}^2 \pm 1,66$ ). Alle Kreuzungen mit Pietrain Anteilen zeigten Muskelwerte über  $93 \text{ cm}^2$  und Fettflächen unter  $23 \text{ cm}^2$  im Kotelettmuskel. Die Kreuzung WSL (Muskel:  $82,33 \text{ cm}^2 \pm 4,09$ ; Fett:  $24,67 \text{ cm}^2 \pm 2,42$ ) lag zwischen den Pietrain- und Ibericokreuzungen. Die Autoren beschrieben die MRT als eine geeignete Methode, Körperzusammensetzungen am lebenden Tier und am Schlachtkörper von verschiedenen Rassen zu evaluieren (KREMER *et al.*, 2012).

KREMER *et al.* (2013) untersuchten 77 Schweine unterschiedlicher Rasse und Gewichts mittels MRT und DXA. Ziel der Untersuchung war die Vorhersage der Körperzusammensetzung am lebenden Tier. Die Muskel- und Fettfläche des Lendenmuskels im Bereich der 14. Rippe wurde mittels MRT analysiert und anschließend mittels Regressionsgleichung mit den Ergebnissen der DXA Gesamtkörperuntersuchung verglichen. Die Ergebnisse zeigten hohe Beziehungen zwischen DXA % Fettgewebe und den MRT Fettflächen ( $R^2 = 0,89$ ;  $\text{MSE} = 2,39\%$ ), DXA Fettgewebe in g und MRT Fettfläche ( $R^2 = 0,82$ ;  $\text{MSE} = 2757 \text{ g}$ ) und DXA Magergewebe in g und MRT Muskelfläche ( $R^2 = 0,82$ ;  $\text{MSE} = 4018 \text{ g}$ ). Lediglich DXA % Magergewebe und MRT Muskelfläche zeigten keine Korrelation ( $R = 0$ ). Die Ergebnisse der multiplen Regressionsgleichung zeigten, dass sowohl DXA Magerweichgewebe als auch DXA Fettgewebe hohe Beziehungen mit den Merkmalen MRT Muskelfläche, MRT Fettfläche und Körpergewicht haben ( $R^2 = 0,96$ ;  $\text{MSE} = 1784 \text{ g}$ , und  $R^2 = 0,95$ ;  $\text{MSE} = 1496 \text{ g}$ ). Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die MRT eine geeignete Methode ist um die Körperzusammensetzung von lebenden Schweinen mit hoher Genauigkeit

vorauszusagen und unterstreicht somit das Potential der MRT - Lebenduntersuchung in der Schweinezüchtung (KREMER et al., 2013)

BERNAU *et al.* (2013) untersuchten 117 Schweine mittels MRT und DXA um eine mögliche Vorverlagerung der Schlachtleistungsprüfung beim Schwein zu evaluieren. Jedes Schwein wurde zweimal gescannt, beim ersten Durchgang wogen die Schweine durchschnittlich 84,5 kg und beim zweiten durchschnittlich 102 kg. Für die Untersuchung wurden die Schweine mit Azaperon und Ketamin sediert und die Regionen Kotelett und Schinken mittels MRT untersucht. Ein DXA Gesamtkörperscan diente als Referenzmethode zur Erfassung der Körperzusammensetzung. Die Ergebnisse der Untersuchung mit 80kg zeigen, dass mit Hilfe der MRT die Merkmale der Kotelettregion (Muskel- und Fett-Volumina) bei 100 kg mit einem hohen Bestimmtheitsmaß vorhergesagt werden können ( $R^2=0,86$  [13,3%] bzw. 0,91 [7,3%]). Die Ergebnisse im Schinkenbereich erzielten niedrigere Beziehungen ( $R^2=0,79$  [12,3%] bzw. 0,44 [5,2%]). Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass mittels MRT-Untersuchung die Körperzusammensetzung eines 100 kg Schweines mit einer Untersuchung bei 80 kg zuverlässig geschätzt werden kann. Des Weiteren bietet die MRT die Möglichkeit einzelne Körperregionen, wie zum Beispiel die Regionen Kotelett oder Schinken, nicht invasiv *in vivo* zu quantifizieren (BERNAU et al., 2013).

## 2.7 Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

Ursprünglich wurde die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) für die Messung der Knochenmineraldichte beim Menschen entwickelt. Die Methode eignet sich aber zudem für die Untersuchung von Weichgeweben (SCHOLZ & BAULAIN, 2009). Sowohl lebende Tiere als auch Schlachtkörper können untersucht werden. Ohne zusätzliche Eingabe von Daten wie zum Beispiel Gewicht oder Länge bestimmt die DXA innerhalb von wenigen Minuten folgende Werte (MITCHELL & SCHOLZ, 2001):

- Gesamtmasse in g
- Fettgewebe (g / %)
- Magerweichgewebe (g / %)
- Knochenmineraldichte ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )
- Knochenmineralgehalt (g)

### 2.7.1 Aufbau eines Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie-Gerätes

Der grundsätzliche Aufbau eines DXA-Scanners besteht aus einem Scannerarm, der Röntgenquelle und dem Untersuchungstisch (siehe Abbildung 16). Der Proband liegt während der Untersuchung auf dem Scannertisch. Im Inneren des Tisches ist die Röntgenquelle untergebracht. Die Röntgenquelle und der Scannerarm müssen immer exakt auf der gleichen Ebene sein, um die abgeschwächten Röntgenstrahlen richtig erfassen zu können (GE, 2010).



Abbildung 16: DXA-Gerät am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim

### 2.7.2 Funktionsweise der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie

Prinzipiell beruhen die Messungen von Fett und Magerweichgewebe auf dem Prinzip der gewebespezifischen Röntgenschwächung. Magergewebe (Protein und Wasser) bewirkt eine stärkere Schwächung der Röntgenstrahlung als Fettgewebe. Am stärksten werden Röntgenstrahlen durch Knochen und Asche abgeschwächt (LASKEY, 1996; MITCHELL & SCHOLZ, 2001; GENTON *et al.*, 2002).

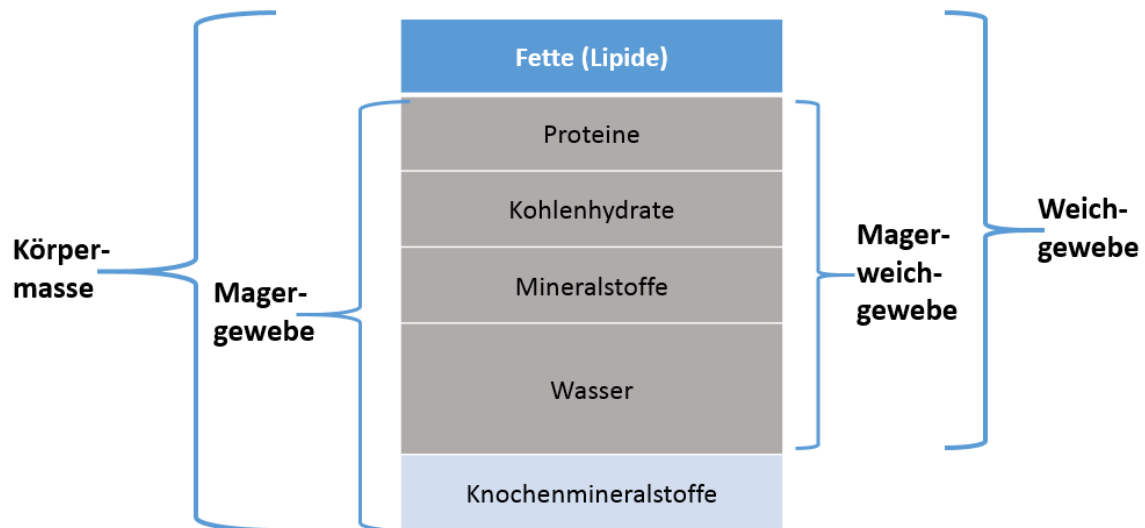
Bei der Messung der Körperzusammensetzung mittels DXA werden zwei unterschiedliche Photonenniveaus erzeugt (LASKEY, 1996). Das Verhältnis der Gesamtabschwächung der beiden Photonenniveaus wird als Röntgenschwächungskoeffizient (R-Wert) bezeichnet. Die zwei unterschiedlichen Spannungen liegen je nach Hersteller im Bereich von 38 keV und 140 keV. Der Fett- und Magerweichgewebegehalt wird bei Pencilbeam-Scannern für jedes Pixel einzeln bestimmt, die kein Knochenmineral enthalten (MITCHELL & SCHOLZ, 2001).

Der R-Wert ist für jedes Element charakteristisch und vom Energieniveau abhängig. Einige Beispiele für die beiden Energieniveaus 40 und 70 keV sind (PIETROBELLI *et al.*, 1996):

- Wasserstoff: 1,09
- Kohlenstoff: 1,22
- Stickstoff: 1,30
- Sauerstoff: 1,41,
- Calcium: 3,54
- Eisen: 4,0

DXA beruht auf einem Drei-Komponenten-Modell für die Gewebezusammensetzung. Es wird einerseits zwischen Fett- und Magerweichgewebe als Weichgewebe und andererseits Knochengewebe unterschieden. Abbildung 17 stellt das Drei-Komponenten-Modell nach SCHOLZ *et al.* (2002) dar.





**Abbildung 17: Drei-Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fettgewebe, Magerweichgewebe und Knochengewebe; modifiziert nach SCHOLZ *et al.* (2002)**

### 2.7.3 Vor und Nachteile der Untersuchung mittels DXA

Ein Vorteil der DXA ist die kurze Untersuchungszeit. Innerhalb von wenigen Minuten kann der gesamte Körper gescannt werden. Es ist eine präzise, nicht invasive Untersuchung möglich, die unabhängig vom Bediener leicht durchgeführt werden kann. Die bei der DXA-Untersuchung auftretende Strahlung von 2-5  $\mu\text{Sv}$  ist verglichen mit der täglichen natürlichen Hintergrundstrahlung von 5–7  $\mu\text{Sv}$  gering. In der Forschung ist es von Vorteil, dass mit dem DXA-Gerät einzelne Regionen am Körper wie zum Beispiel Schulter, Bauch und Schinken analysiert werden können (LASKEY, 1996; GENTON *et al.*, 2002).

In Körperbereichen mit einem hohen Knochenanteil stehen zur direkten Messung des Fettgewebes nur wenige Bildpunkte ohne Knochen zur Verfügung. In solchen Bereichen verwendet DXA Werte von anliegenden knochenfreien Regionen um den Magerweichgewebeanteil zu berechnen. Dadurch kann es zu ungenaueren Ergebnissen im Bereich der Gliedmaßen und des Thorax kommen (GENTON *et al.*, 2002).

### 2.7.4 Einsatz der DXA beim Schwein

Die Autoren MITCHELL *et al.* (1998) analysierten die Körperzusammensetzung von kleinen Schweinen mittels DXA. Insgesamt 97 Schweine mit einem Gewicht von 5 – 27 kg wurden untersucht. Anschließend wurden die Tiere getötet und chemisch analysiert. Die Autoren fanden heraus, dass der prozentuale Fettgehalt mittels DXA-Analyse signifikant unterschätzt wurde (Chemisch: 10,9%, DXA: 6,9%,  $p = < 0.001$ ). Die anderen DXA-Ergebnisse zeigten sehr gute Beziehungen mit der chemischen Analyse auf. Es ergaben sich insgesamt folgende Werte: Körpergewicht  $R^2 = 0,99$  (SEE = 227g), Magerweichtgewebe in g  $R^2 = 0,99$  (SEE = 534 g), Fettgewebe in g  $R^2 = 0,92$  (SEE = 283 g), Fettgewebe in %  $R^2 = 0,74$  (SEE = 1,57 %), Knochenmineral in g  $R^2 = 0,81$  (SEE = 74 g). MITCHELL *et al.* bezeichneten DXA als eine Methode, die mit einer geeigneten Einstellung bzw. Kalibrierung zur Analyse der Körperzusammensetzung genutzt werden kann (MITCHELL *et al.*, 1998).

MITCHELL *et al.* (2000) untersuchten die Körperzusammensetzung von 71 Schweinen mittels DXA. Davon hatten 17 Schweine ein durchschnittliches Körpergewicht von 90 kg und eine maximale Körpertiefe von 30 cm. Die restlichen Tiere ( $n=54$ ) hatten ein durchschnittliches Körpergewicht von 123 kg und eine maximale Körpertiefe von 35 cm. Nach einem Ganzkörperscan unter Anästhesie wurden die Tiere getötet. Anschließend wurde die rechte Schlachthälfte mittels DXA untersucht und chemisch analysiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die DXA Untersuchung mit steigendem Körpergewicht einen höheren Fettanteil berechnet, was bei schwereren Tieren zu einer geringeren Unterschätzung des Fettanteils als in der leichteren Gruppe führt. Außerdem fanden die Autoren heraus, dass die DXA-Untersuchung gegenüber der chemischen Analyse bei schwereren Tieren den Knochenmineralgehalt unterschätzt. Diese Unterschätzung zeigte sich vor allem im Bereich der Schulter, der Hals- und Brustwirbelsäule. MITCHELL *et al.* erklärten dieses Phänomen damit, dass in diesem Bereichen die Röntgenstrahlung aufgrund der Körperdicke und Knochendichte stark abgeschwächt wird und somit können einzelne Bildpunkte nicht mehr erfasst werden. Dieses Abschwächungsphänomen war vor allem in der Gruppe der schwereren Schweine zu sehen (MITCHELL *et al.*, 2000).

Die Entwicklung des Knochenmineralgehaltes im Laufe des Wachstums beobachteten MITCHELL *et al.* (2001b) indem sie 587 Schweine mittels DXA untersuchten. Die Schweine

wurden in 5 Gewichtsklassen (12 kg, 33 kg, 62 kg, 92 kg und 120 kg) eingeteilt. Außerdem wurde der Körper in 7 Regionen unterteilt (Kopf, Vorderbeine, Hinterbeine, Stamm, Rippen, Becken, Wirbelsäule). Ziel der Untersuchung war, die Veränderung des Knochenmineralgehaltes bezogen auf die Körperregion zu erfassen. Die Autoren werteten 1053 Ganzkörperscans aus und stellten fest, dass während der ersten Wachstumsphase (Gewichtsbereich: 3 bis 30 kg) Knochenmineral vermehrt in der Stammregion abgelagert wird. Zwischen 30 kg Lebendgewicht und dem Endgewicht (138 kg) wurden die Knochenminerale vermehrt in den Beinen abgelagert. Während der letzten Wachstumsphase überwog die Knochenmineralisierung in den Hinterbeinen (MITCHELL *et al.*, 2001b)

SCHOLZ *et al.* (2002) untersuchten 30 Schweinehälften mittels DXA. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, welche Genauigkeit DXA für die Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften im Vergleich mit der EU-Referenzzерlegung aufweist. Die rechten Schlachthälften wurden mittels DXA untersucht. Die linken Schlachthälften wurden mittels EU-Referenzmethode zerlegt. Die mittels DXA ermittelte Gewebemasse der rechten unzerlegten Schlachthälfte stimmte mit dem mittels Zerlegung festgestellten Gewicht der linken Schlachtkörperhälfte in hohem Masse überein ( $R^2 = 0.91$ ; RMSE = 0.70). Beim Vergleich der Teilstücke aus der Zerlegung mit den Teilstücken aus DXA kamen die Autoren auf eine etwas niedrigere Übereinstimmung ( $R^2 = 0.84$ ; RMSE = 0,63). Den Grund für diese geringere Übereinstimmung sehen die Autoren in anatomisch bedingten Abweichungen bei der Definition der Geweberegion bzw. der Schnittführung der Teilstücke. Der prozentuale Fettanteil der zerlegten linken Schlachthälfte stand in enger Beziehung zu dem der rechten DXA Schlachthälfte ( $R^2 = 0.82$ ; RMSE = 1.62) Insgesamt war der mittels DXA ermittelte Fettgehalt um ca. 8,7% niedriger als der grobgewebliche Fettgehalt aus Zerlegung. Die niedrigeren Werte der DXA-Untersuchung erklärten SCHOLZ *et al.* dadurch, dass im grobgeweblich ermittelten Fettgehalt neben Fett bzw. Speck (hauptsächlich Lipide + Wasser) noch ein Teil der Schwarte (im Rückenbereich) enthalten ist. Das mittels DXA ermittelte Fett besteht jedoch allein aus Lipid bzw. Fettsäuren und Triglyzeriden. Bei der Messung des Magerweichgewebes werden neben „reinem“ Muskelgewebe (Wasser, Protein, Glykogen) weitere nicht lipid-enthaltende Bestandteile wie Sehnen, Faszien, Schwarten und nicht-knochenassoziierte Mineralstoffe einbezogen. Somit

liegt der Muskelfleischanteil der Zerlegung unter den prozentualen DXA-Messwerten für das Magerweichgewebe. Insgesamt besteht zwischen dem Muskelfleischanteil der zerlegten Stücke und dem DXA-Magerweichgewebe der korrespondierenden Region jedoch eine hohe Beziehung ( $R^2 = 0.76$ ;  $RMSE = 1.74$ ); (SCHOLZ *et al.*, 2002).

SUSTER *et al.* (2003) untersuchten 151 Schweine mittels DXA und chemischer Analyse. Die Tiere wogen zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 10 und 120 kg. Zuerst wurden die Schweine lebend, danach der gesamte Schlachtkörper und anschließend eine Schlachtkörperhälfte untersucht. Die Ergebnisse der DXA-Analyse standen in sehr enger Beziehung mit der chemischen Analyse. Die Autoren beschrieben DXA als eine gute Möglichkeit die Körperzusammensetzung von Schweinen zu analysieren, da DXA zerstörungsfrei arbeitet und eine hohe Genauigkeit aufweist (SUSTER *et al.*, 2003).

SCHOLZ *et al.* (2004) untersuchten rechte Mittelhandknochen von 38 Ebern, um die Eignung der DXA zur Erfassung der Knochenmineralisierung festzustellen. Das Schlachtgewicht der Schweine lag zwischen 102 und 152 kg. Die Knochen wurden von Bindegewebe und Periost befreit und mittels DXA untersucht. Danach wurden die Knochen verascht. Die Ergebnisse der Knochenmineralgehalte die mittels DXA festgestellt wurden und die Ergebnisse der Veraschung (Rohasche in g) korrelierten eng miteinander ( $R^2 = 0.94 \pm 0,27$  g). Des Weiteren fanden die Autoren heraus, dass die Tiere mit den höchsten DXA-Knochenmineraldichten in der Tendenz auch die höchsten P-, Ca- und Rohaschegehalte (g/1000g) in der Knochenfrischmasse aufwiesen ( $R^2 = 0.75$ ). SCHOLZ *et al.* beschrieben DXA als eine geeignete Methode, um eine Aussage über die Knochenmineralisierung beim Schwein treffen zu können, ohne jedoch zwischen den verschiedenen Knochenmineralbestandteilen wie z.B. Ca und P unterscheiden zu können (SCHOLZ *et al.*, 2004).

LAUTERBACH (2012) untersuchten 82 linke und 1 rechte Eberschlachthälften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie um deren Schlachtkörperzusammensetzung zu evaluieren. Die Tiere stammen aus vier Herkunft. Nachdem die Schlachtkörper untersucht und in 5 Teilregionen unterteilt wurden, wurden die Ergebnisse von Magerweichgewebe, Körperfett, Knochenmineralgehalt sowie Muskelfleischanteil (aus DXA Daten berechnet) in Abhängigkeit von der Herkunft und dem Gewicht verglichen. Die Schweine waren in zwei Gewichtsgruppen eingeteilt (Gruppe 1:  $\leq 90$  kg, Gruppe 2:  $> 90$  kg). Die Herkunft zeigte einen

signifikanten Einfluss auf die Schlachtkörperzusammensetzung, was die Bedeutung der Genetik, Fütterung und Haltung für die Schlachtkörperzusammensetzung verdeutlicht. Die Gewichtsgruppen zeigten hingegen keinen signifikanten Einfluss auf den Schlachtkörperwert (LAUTERBACH, 2012).

BERNAU *et al.* (2013) untersuchten 117 Schweine unter anderem mittels DXA um eine mögliche Vorverlagerung der Schlachtleistungsprüfung beim Schwein zu evaluieren. Jedes Schwein wurde zweimal gescannt, beim ersten Durchgang wogen die Schweine durchschnittlich 84,5 kg und beim zweiten durchschnittlich 102 kg. Für die Untersuchung wurden die Schweine mit Azaperon und Ketamin sediert und anschließend einem Ganzkörperscann unterzogen. Die Autoren setzten die ermittelten DXA-Werte Gesamtkörperfettanteil (%) von der ersten und der zweiten Messung ins Verhältnis und erhielten ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0.87$ . Beim Vergleich des Magerweichgewebeanteils konnte ebenfalls ein hoher Regressionskoeffizient ( $R^2 = 0.87$ ) erreicht werden. Zusammenfassend fanden die Autoren DXA als ein geeignetes Analyseverfahren die Körperzusammensetzung von 100 kg schweren Schweinen bei 80 kg Körpergewicht relativ genau vorhersagen zu können und DXA somit als Referenzmethode eingesetzt werden kann (BERNAU *et al.*, 2013).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Versuchstiere

Insgesamt wurden 101 rechte Schweineschlachthälften mittels Magnetresonanztomographie und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie untersucht, um deren Schlachtkörperzusammensetzung zu analysieren. Die Versuchstiere wurden in drei Gruppen unterteilt. Jede Gruppe bestand jeweils zu einem Drittel aus intakten Ebern, zu einem Drittel aus chirurgisch kastrierten Ebern und zu einem Drittel aus immunokastrierten Ebern. Die erste Gruppe mit 37 Schweineschlachtkörpern wurde vom 16. bis 18. Dezember 2013 untersucht. Die zweite Gruppe mit 33 Schlachtkörpern wurde vom 10. bis 12. März 2014 untersucht. Die dritte Gruppe mit 31 Schlachthälften wurde vom 14. bis 16. Juli 2014 untersucht.

##### 3.1.1 Herkunft und Genetik der Versuchstiere

Bei den Versuchstieren handelte es sich um 101 Mastschweinhybriden (Piétrain (Vaterrasse) x Deutsche Landrasse (Muterrasse)) aus dem Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim.

##### 3.1.2 Haltung der Versuchstiere

Nach einer Säugezeit von 28 Tagen wurden die Ferkel abgesetzt und am Tag 32 zur Aufzucht in das Flatdeck umgestallt. Ab diesem Zeitpunkt wurden die drei Geschlechtsgruppen gleichmäßig innerhalb einer Gruppe aufgeteilt. Durchschnittlich 45 Tage verbrachten die Ferkel im Flatdeck. Für die Mast wurden die Tiere in den vorhandenen Außenklimastall auf Tiefstreu und Teilspaltenboden mit Doppelfitmix-Futterautomaten (Fa. PigTek) umgestallt. Je nach Gruppengröße hatte ein Schwein  $1,46\text{m}^2$  -  $1,64\text{m}^2$  Platz zur Verfügung.

Die Tiere wurden mit einem durchschnittlichen Mastendgewicht von ca. 120 kg geschlachtet und die rechten Schlachtkörperhälften anschließend im Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim untersucht.

Die Gruppe der Kastraten wurden am 5. Lebenstag konventionell kastriert. Die Gruppe der „Immunokastraten“ wurden durch zweimalige Injektion mittels Improvac® (Zoetis, New Jersey, USA; ehemals Pfizer) "kastriert". Die erste Injektion wurde bei allen Tieren dieser Gruppe am 84. Lebenstag, die 2. Injektion 4 Wochen vor der Schlachtung durchgeführt.

### 3.1.3 Fütterung der Versuchstiere

Ab dem 8. bis zum 31. Lebenstag wurden die Ferkel mit der Futtermischung „Ferkel Früh“ zugefüttert. Ab dem 32. Lebenstag bzw. ab dem Zeitpunkt der Umstallung ins Flatdeck wurde auf die Futtermischung „Aufzuchtfutter“ umgestellt. Im Außenklimastall wurden die Schweine mit dem Futter „Vormast“ bis zum Erreichen der Schlachtreife gefüttert. Alle Futtermischungen wurden am Lehr- und Versuchsgut selbst hergestellt. Tabelle 6 zeigt die einzelnen Futtermischungen.

**Tabelle 6: Anteilsmäßiges Verhältniss der Futterkomponenten in den verschiedenen Futtersorten**  
(LT = Lebenstag)

	„Ferkel Früh“ 8. LT – 31. LT	„Aufzuchtfutter“ 32. LT – 77. LT	„Mastfutter“ 78. LT – 166. LT
<b>Futtermittel</b>	<b>Anteil %</b>	<b>Anteil %</b>	<b>Anteil %</b>
Gerste	20	21	31
Weizen	35	38,5	22,3
Weizenflocken	15		
Mais		10	22,3
Sojaschrot		26	20,4
Mineralfutter: Ferkel -Kompakt	30		
Mineralfutter: Herdbuch FM		4	
Mineralfutter: Mastkraft			3
ADDCON FORMI (Säureadsorbaten)		0,5	1

Laut Untersuchungsbefund des Futtermittellabors Lichtenwalde enthält das Aufzuchtfutter 14,8 MJ/kg Trockensubstanz (TS) und 216 g Rohprotein/kg TS; das Mastfutter enthielt 15,0 MJ/kg TS und 191 g Rohprotein/kg TS.

### 3.2 Untersuchung der Versuchstiere

Am Tag der Schlachtung hatten die Tiere ein durchschnittliches Alter von  $164,6 \pm 0,6$  Tagen und ein durchschnittliches Schlachtkörpergewicht von  $79,5 \pm 8,6$  kg. Nach der Schlachtung wurden die rechten Schlachthälften am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim 17 Stunden gekühlt und anschließend mittels Magnetresonanztomographie (MRT) und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) untersucht. Die durchschnittlichen Schlachtgewichte können der Tabelle 7 entnommen werden.

**Tabelle 7: Durchschnittsschlachtkörpergewichte der Schweine des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim**

	Gruppe I (16.-18.12.2013)	Gruppe II (10.-12.3.2014)	Gruppe III (14.-16.7.2014)
Ø Schlachtkörpergewicht (kg)	$83,07 \pm 8,09$	$78,41 \pm 9,78$	$76,37 \pm 6,29$

#### 3.2.1 Untersuchung mittels Magnetresonanztomographie

Die Schlachtkörper wurden am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim mittels eines Siemens Magnetom Open (siehe Abbildung 18) mit einer Feldstärke von 0,2 Tesla (Niederfeldmagnet) untersucht. Die Schlachthälften wurden mit der Fleischseite auf den MRT-Tisch positioniert und so gelagert, dass der Rücken eine gerade Linie bildete. Als Antenne diente die große Körperspule. Für die Bestimmung der Körperzusammensetzung wurde der gesamte Schlachtkörper vom Kopf bis in das Kniegelenk mittels einer T1-gewichteten Spin-Echo-Sequenz (Schichtdicke 15mm, Distanzfaktor 0,25) untersucht. Eine Sequenz bestand dabei aus 10 axialen Schnittbildern. Die Messprotokolle für das Übersichtsbild (Scout) und die Gesamtkörperuntersuchung sind in Tabelle 8 dargestellt.



**Tabelle 8: Untersuchungsprotokoll der Magnetresonanztomographie**

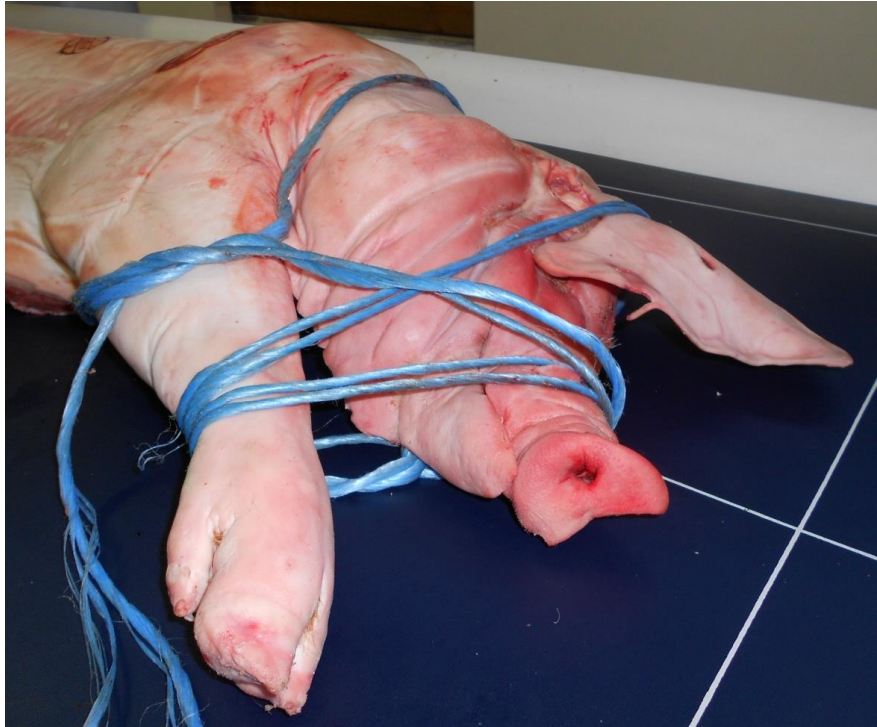
	<b>Scout (Übersichtsbild)</b>	<b>Gesamtkörper</b>
Untersuchungszeit	19 sec	3min 17 sec
Anzahl Scheiben	3	10
Scheibendicke	15 mm	15 mm
Distanzfaktor	-	0,25
Pixelgröße mm	3,13 x 1,56	1,80 x 1,80
Signal/Rausch Verhältnis	1,00	1,00
Repetitionszeit (TR)	40 ms	380 ms
Echozeit (TE)	10 ms	15 ms
Flipwinkel	40°	90°
Ausrichtung	verschieden	transversal
Erregungsanordnung	aufsteigend	ineinander
Matrix	128 x 156	256 x 256
Anzahl der Erfassungen	1	2
Anzahl der Messungen	1	1



**Abbildung 18: Untersuchung der Schlachtkörper mittels Magnetresonanztomographie am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim**

## Material und Methoden

Um den gesamten Schlachtkörper ohne das Abtrennen der Gliedmaßen untersuchen zu können wurde mit Hilfe von Strohbindern die Vordergliedmaße an den Kopf gebunden (siehe Abbildung 19), die Hintergliedmaße wurde nach hinten gestreckt.



**Abbildung 19: Technik zum Verschnüren der Schlachthälften**

Zur Orientierungshilfe beim Auswerten der Bilder wurden vier Eppendorfröhrchen an den folgenden Wirbeln positioniert (siehe Tabelle 9):

**Tabelle 9: Positionierung der Wasserröhrchen zur Orientierungshilfe**

	<b>Position auf der Bandscheibe</b>
1. Wasserröhrchen	Zwischen letztem Hals- und erstem Brustwirbel
2. Wasserröhrchen	Zwischen 3.- und 4. letztem Brustwirbel
3. Wasserröhrchen	Zwischen letztem und vorletztem Brustwirbel
4. Wasserröhrchen	Zwischen 3. und 4. Lendenwirbel



**Abbildung 20: Schlachtkörper auf dem MRT-Tisch mit den positionierten Eppendorfröhrchen; die ovalen Kreise umranden die Röhrchen**

### 3.2.2 Auswertung der magnetresonanztomographischen Bilder

Die MRT-Bilder wurden mit der Software 3D Doctor (Able Software Corp., Lexington, USA) ausgewertet. Mithilfe der Eppendorfröhrchen wurden für jede der folgenden Regionen Fixpunkte festgelegt. Diese Fixpunkte dienten bei allen Tieren zur Orientierung für die Auswertung. Des Weiteren wurde die Auswertung von nur einer Person durchgeführt, um personenbedingte Unterschiede auszuschließen. Nachdem die Muskel- und Fettflächen der einzelnen Schnittbilder manuell bzw. halbautomatisch definiert wurden, wurde mittels der 3D Software ein dreidimensionales Bild erstellt (siehe zum Beispiel Abbildung 33). Tabelle 10 zeigt wie viele Schnittbilder in welcher Region und mit welchem Verfahren ausgewertet

wurden. Von allen in Tabelle 10 beschriebenen Regionen wurde das Volumen mittels der 3D Doctor-Software berechnet.

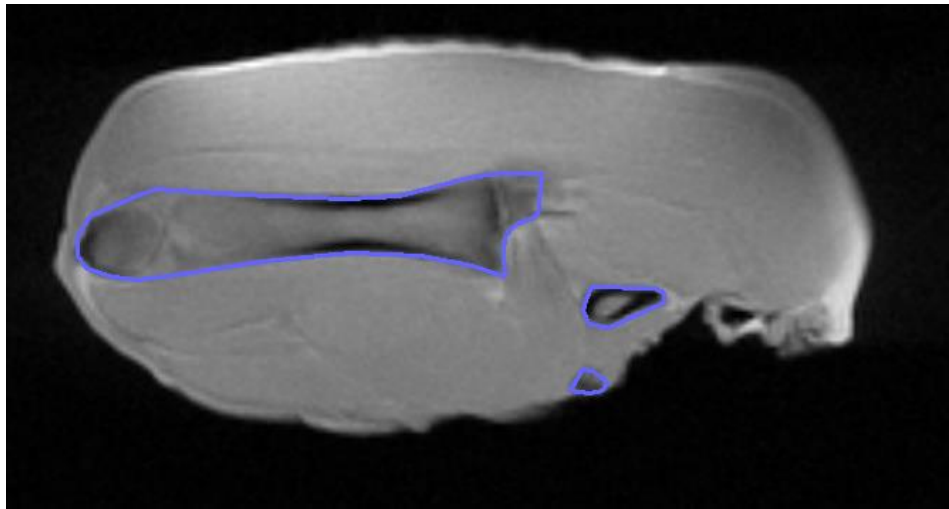
**Tabelle 10: Ausgewertete MRT-Regionen**

Region	Name	Anzahl Scheiben	Anatomie	Auswertungsart
1	Kotelett Muskel 1 Schnittbild	1	<b><i>Musculus longissimus dorsi</i> caudal der vorletzten Rippe</b>	manuell
1.1	Kotelett Fett 1 Schnittbild	1	Fettauflage der Region 1	manuell
2	Kotelett Muskel 3 Schnittbilder	3	Region 1 + weitere zwei Schnittbilder caudal	manuell
2.1	Kotelett Fett 3 Schnittbilder	3	Fettauflage der Region 2	manuell
3	Schinken Muskel 5 Schnittbilder	5	<b>Muskulatur im Bereich des Oberschenkelknochens, proximal der Kniekondylen</b>	halbautomatisch
3.1	Schinken Fett 5 Schnittbilder	5	Fettauflage der Region 3	halbautomatisch
4	Schulter Muskel 1 Schnittbild Vorne	1	<b>Muskulatur im Bereich Oberarm/Schulterblatt, proximal der Vereinigung von Gliedmaße und Rumpf</b>	halbautomatisch
4.1	Schulter Fett 1 Schnittbild Vorne	1	Fettauflage der Region 4	halbautomatisch
5	Schulter Muskel 5 Schnittbilder	5	Region 4 + weitere vier Schnittbilder caudal	halbautomatisch
5.1	Schulter Fett 5 Schnittbilder	5	Fettauflage der Region 5	halbautomatisch
6	Filet Muskel 1 Schnittbild	1	<b><i>Musculus psoas major</i> zwischen 3. und 4. Lendenwirbel</b>	manuell
7	Filet Muskel 5 Schnittbilder	5	Region 6 + weitere vier Schnittbilder caudal	manuell
8	Lende Muskel 1 Schnittbild	1	<b><i>Musculus longissimus lumborum</i> zwischen 3. und 4. Lendenwirbel</b>	manuell
8.1	Lende Fett 1 Schnittbild	1	Fettauflage der Region 8	manuell
9	Lende Muskel 5 Schnittbilder	5	Region 8 + weitere vier Schnittbilder caudal	manuell
9.1	Lende Fett 5 Schnittbilder	5	Fettauflage der Region 9	manuell

## Material und Methoden

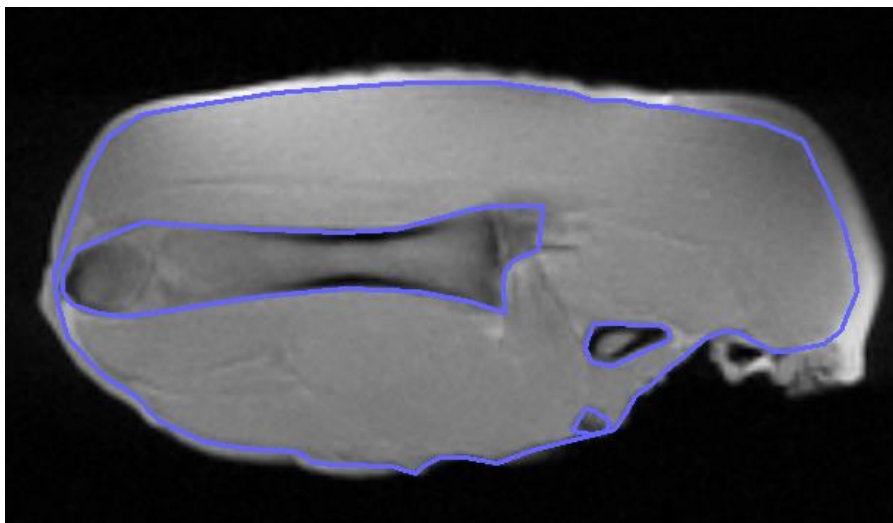
Bei der manuellen Auswertung des Koteletts, des Filets und der Lende wurden die Muskel- und Fettgrenzen von der Untersuchungsperson manuell definiert. Der Schinken- und Schulterbereich wurde halbautomatisch ausgewertet. Aufgrund der verschiedenen Graustufen im Bild kann das Gewebe in Fett und Muskulatur unterteilt werden. Bei der halbautomatischen Auswertung wurden folgende Schritte durchgeführt:

1. Schritt: Die Knochen wurden umrandet und somit von der Auswertung ausgenommen (Abbildung 21).



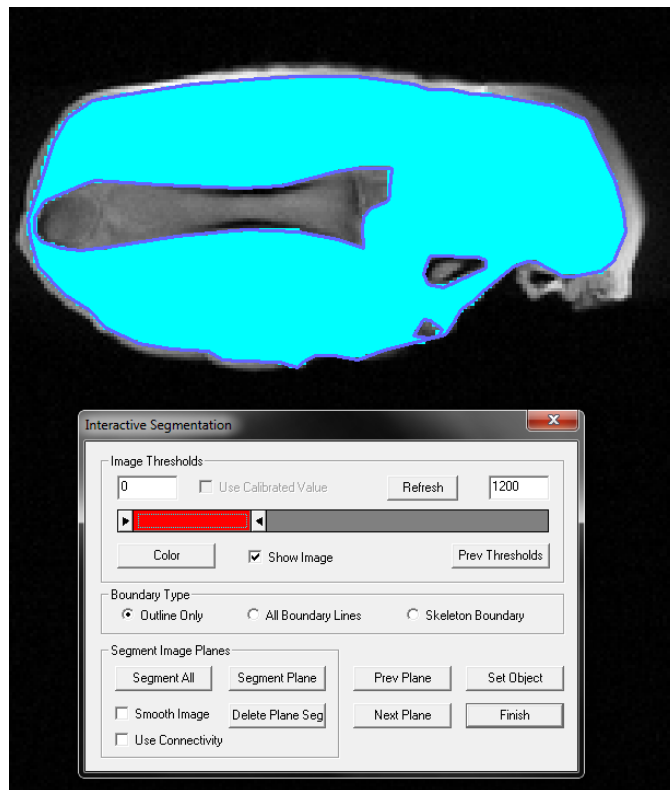
**Abbildung 21: 1. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Die Knochen wurden umrandet.

2. Schritt: Die Grenze zwischen Muskelfleisch und Fettauflage wurde definiert (Abbildung 22).



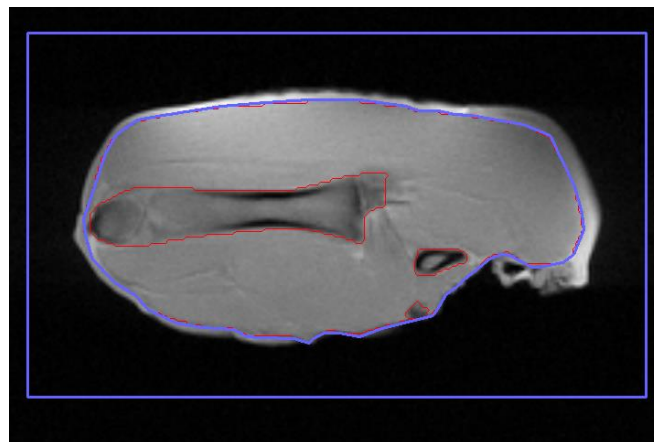
**Abbildung 22: 2. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Die Muskel-Fett-Grenze wurde definiert.

3. Schritt: Die Muskelfläche wurde mithilfe der Graustufen im Bild definiert (Abbildung 23).



**Abbildung 23: 3. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Die Muskelfläche wurde anhand der Graustufen (Image Thresholds) definiert.

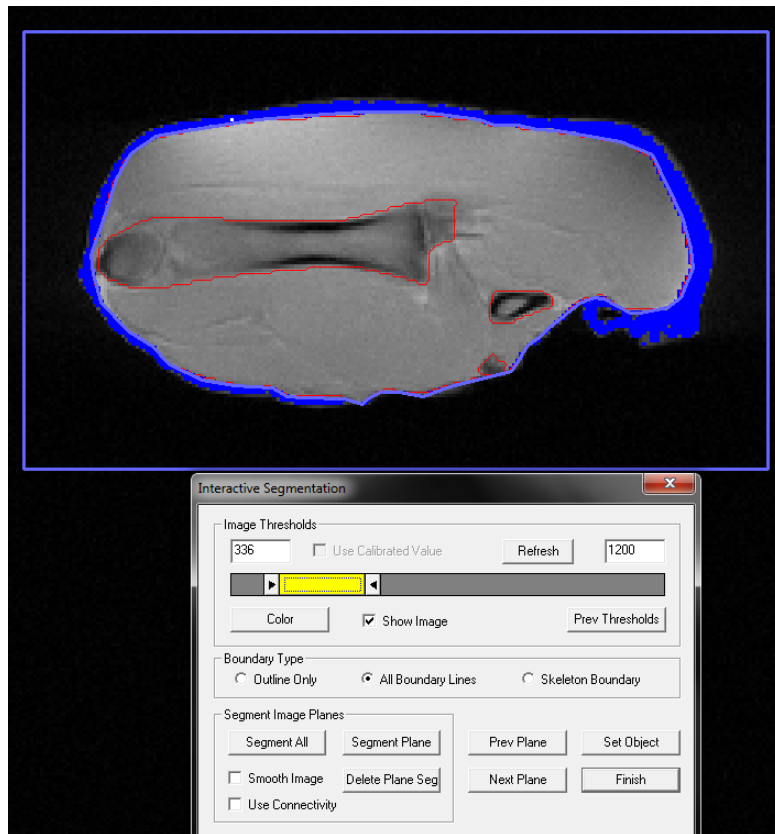
4. Schritt: Es wurde eine „Region of Interest“ (ROI) um die Fettauflage festgelegt und die Knochenmarkierungen wurden entfernt (Abbildung 24).



**Abbildung 24: 4. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Es wurde eine Region of Interest um die Fettauflage gezogen und gleichzeitig wurden die Knochenmarkierungen entfernt.

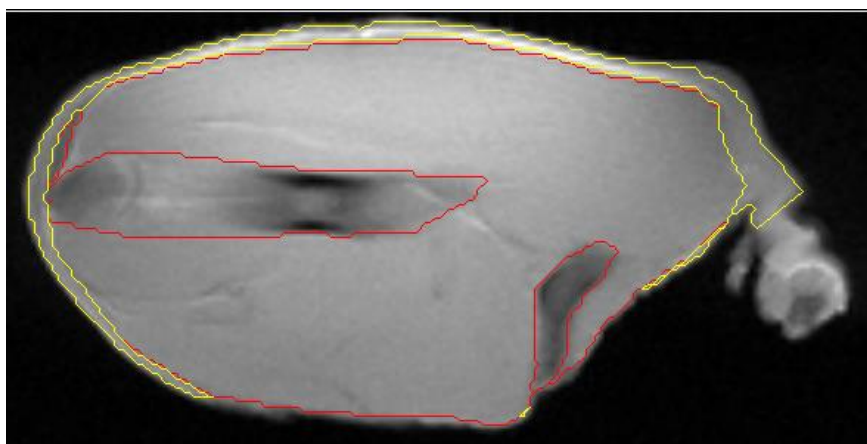


5. Schritt: Die Fettfläche wurde mithilfe der Graustufen im Bild definiert (Abbildung 25).



**Abbildung 25: 5. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Die Fettauflage wurde anhand der Graustufen (Image Thresholds) definiert.

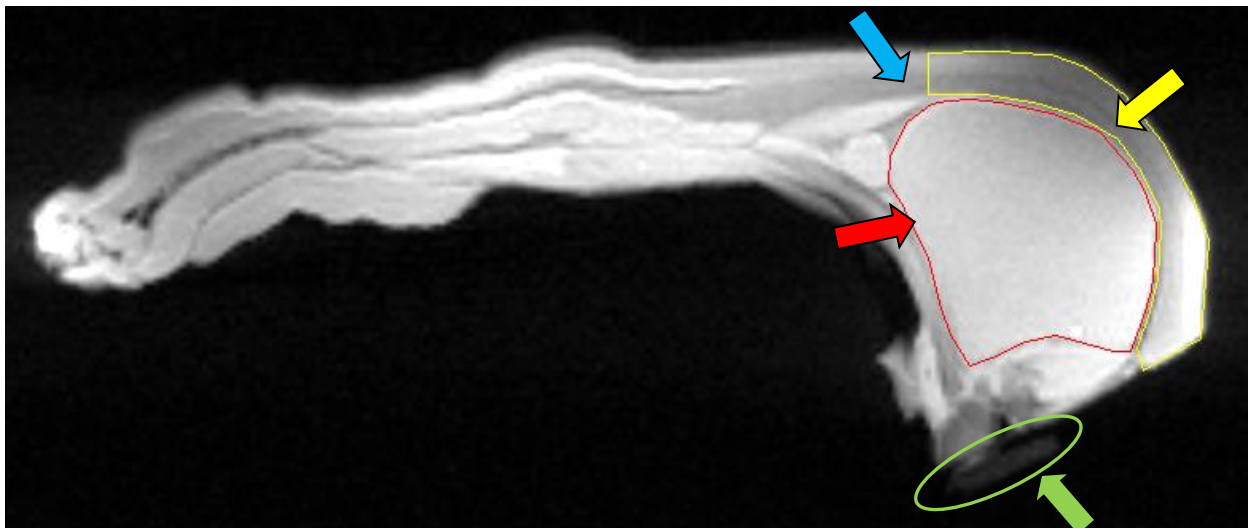
6. Schritt: Der Afterbereich wurde manuell ausgegrenzt um eine Vergleichbarkeit der Schlachtkörper untereinander zu gewährleisten, da dieser bei einigen Schlachtkörpern bereits am Schlachthof entfernt wurde (Abbildung 26).



**Abbildung 26: 6. Schritt der halbautomatischen Auswertung:** Nachdem die Fettauflage definiert wurde, ist der Afterbereich manuell abgegrenzt worden.

Wie in Tabelle 10 bereits beschrieben wurden folgende Regionen mit dem 3D Doctor ausgewertet:

- ✓ **Kotelett:** Insgesamt wurden 3 Scheiben caudal der vorletzten Rippe manuell ausgewertet. Als Hilfsmittel diente das platzierte Wasserröhrchen (Position 3, siehe Abb. 20), welches auf der Bandscheibe zwischen der letzten und vorletzten Rippe platziert wurde. Die Abbildung 27 zeigt den Bereich, der für die Auswertung ausgewählt wurde. Der *Musculus longissimus dorsi* wurde manuell umrandet (rot), anschließend seine Fettauflage (gelb). Es wurde nur die Fettauflage manuell umrandet, die direkt mit dem *Musculus longissimus dorsi* in Verbindung stand. Die Grenze der Fettauflage wurde somit an dem Punkt festgelegt, an dem der *Musculus serratus dorsalis caudalis* mit der Kotelettfläche in Verbindung tritt. Dieser Punkt war für alle Bilder auffindbar.



**Abbildung 27: Manuelle Auswertung einer Kotelett Scheibe.** Der rote Pfeil zeigt auf die Muskelfläche, der gelbe Pfeil kennzeichnet die Fetfläche, der grüne Pfeil kennzeichnet das eingekreiste Wasserröhrchen, das als Orientierungshilfe diente und der blaue Pfeil markiert die ausgewählte Grenze der Fettauflage.



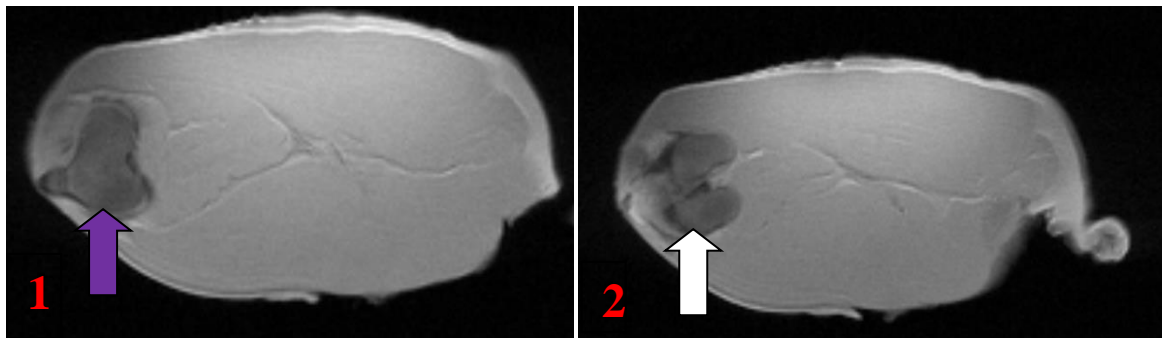
## Material und Methoden

Nachdem alle 3 Scheiben in der Kotelettregion manuell ausgewertet wurden, wurde ein dreidimensionales Bild erstellt (siehe Abbildung 28).



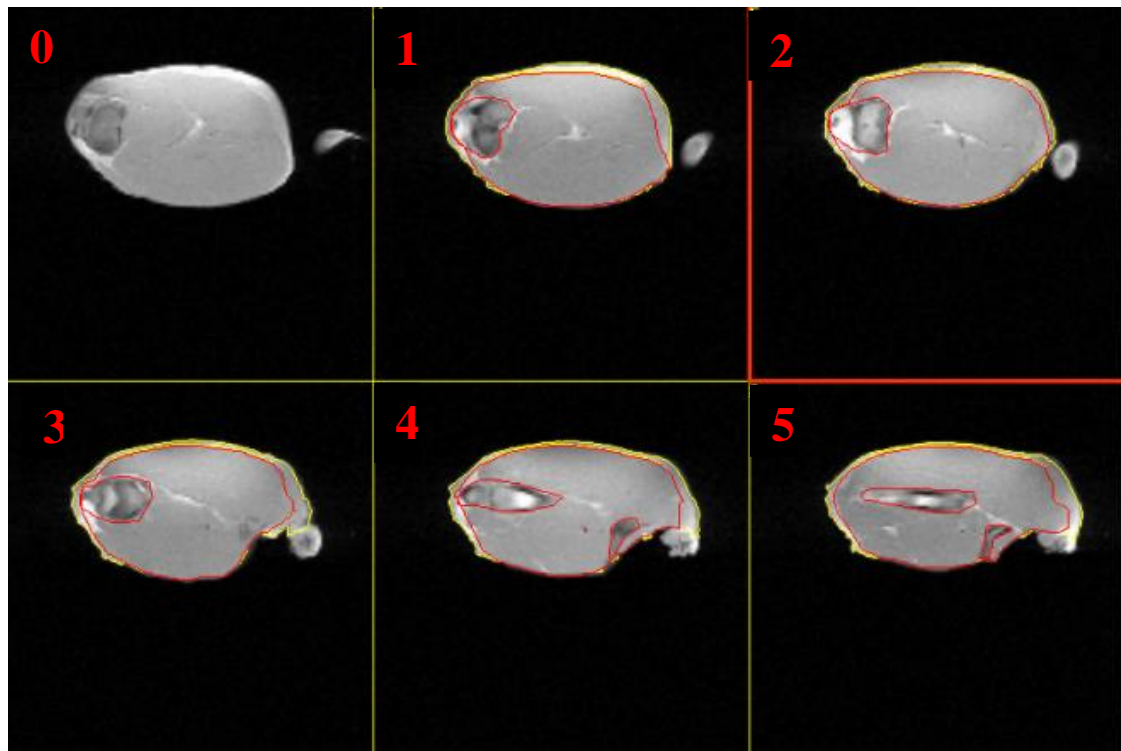
**Abbildung 28: 3D-Rekonstruktion des Koteletts.** Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe

- ✓ **Schinken:** Für diese Region wurden 5 Scheiben halbautomatisch ausgewertet. Als Startpunkt für die Auswertung wurde die Fläche gewählt, bei der die beiden Kniekondylen separat zu sehen waren (siehe Abbildung 29).

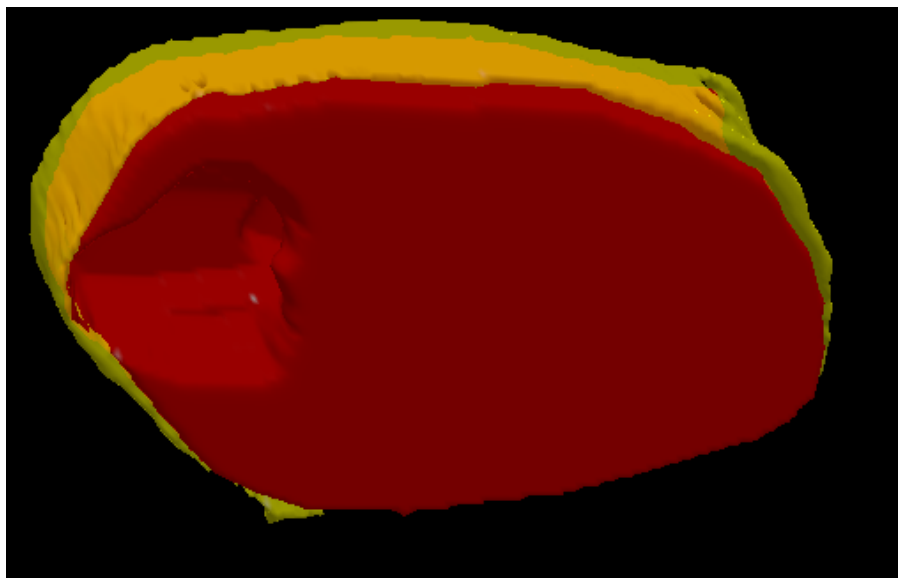


**Abbildung 29: Definition der Messstelle.** Der violette Pfeil im Bild 1 zeigt den Unterschenkelknochen, der weiße Pfeil im Bild 2 zeigt die Kniekondylen bereits separat. Dies war der erste Schnitt der analysiert wurde.

Abbildung 30 zeigt die Schnittbildfolge der Schinkenregion nebeneinander und Abbildung 31 zeigt die dreidimensionale Rekonstruktion der Schinkenregion.

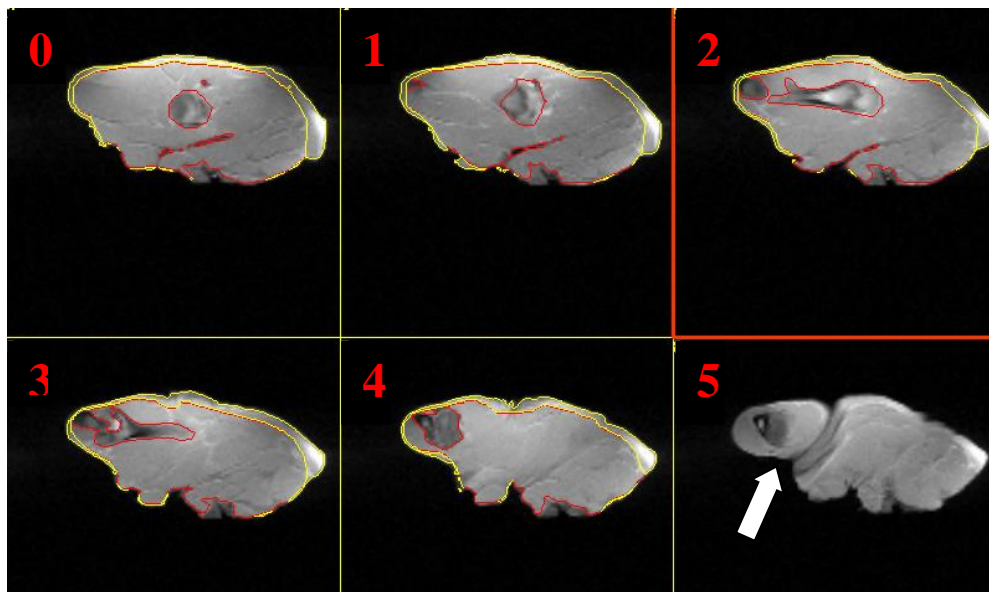


**Abbildung 30:** Darstellung der 5 Scheiben nach halbautomatischer Auswertung der Schinkenregion. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe

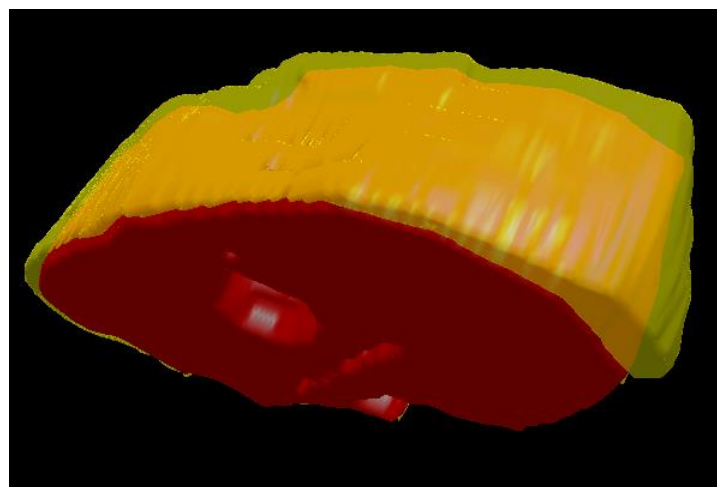


**Abbildung 31:** 3D-Rekonstruktion der Schinkenregion. Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe

- ✓ **Schulter:** Insgesamt wurden in der Schulterregion fünf Scheiben im Bereich des Oberarms/Schulterblatt halbautomatisch ausgewertet, wobei das Bild in dem sich Gliedmaße und Rumpf vereinigen als Startbild verwendet wurde und vier weitere Bilder proximal dieses Bildes zur Auswertung herangezogen wurden. Abbildung 32 zeigt die ausgewertete Schnittbildfolge. Abbildung 33 zeigt die 3D Rekonstruktion der Schulterregion.



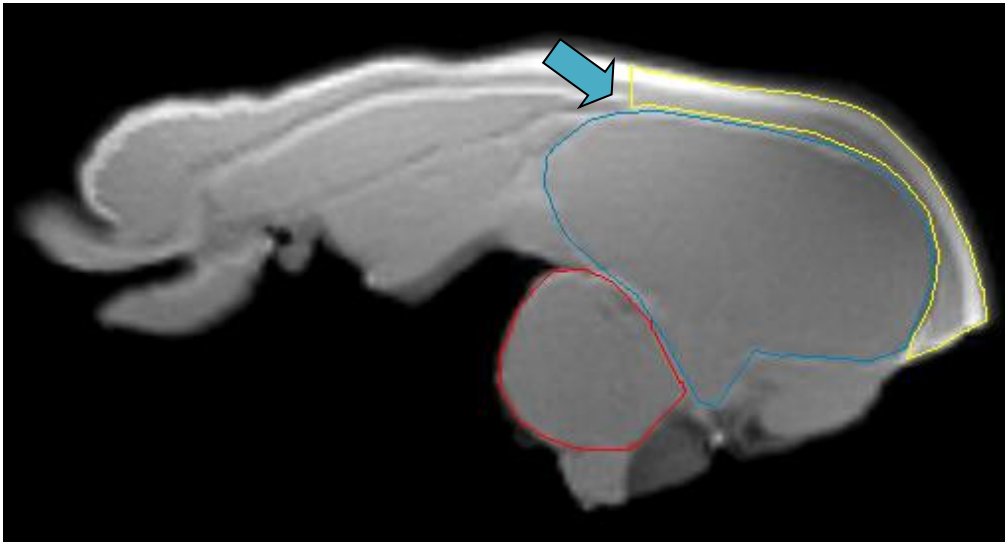
**Abbildung 32: Halbautomatische Auswertung der Schulterregion.** Im Bild Nummer 5 (weißer Pfeil) sind Vordergliedmaße und Rumpf noch getrennt, im Bild 4 bereits vereint welches somit das erste auszuwertende Bild darstellt. Muskelfläche: Rot umrahmt, Fettfläche: Gelb umrahmt.



**Abbildung 33: 3D-Rekonstruktion der Schulter.** Rot: Muskelgewebe, Gelb: Fettgewebe

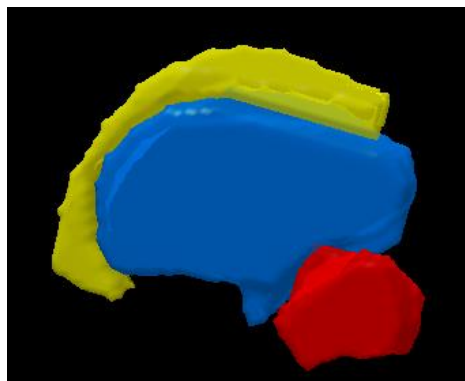
## Material und Methoden

- ✓ **Filet:** Die manuelle Auswertung der fünf Filetscheiben wurde am Schnittbild auf der Bandscheibe zwischen 3. und 4. Lendenwirbel begonnen. Der Filetbereich (*Musculus psoas major*) ist in der Abbildung 34 rot markiert.



**Abbildung 34: Manuelle Auswertung des Lenden- und Filetbereiches.** Rot: Musculus psoas major, Gelb: Fettgewebe, Blau: Musculus longissimus lumborum, der blaue Pfeil markiert die ausgewählte Grenze der Fettauflage.

- ✓ **Lende:** Die manuelle Auswertung des Lendenmuskels (*Musculus longissimus lumborum*) mitsamt seiner Fettauflage wurde in der gleichen Region wie beim Filet durchgeführt. Die Fettauflage wurde wiederum nur in dem Bereich markiert, indem sie eine direkte Verbindung zum Lendenmuskel hatte. Der blaue Pfeil in Abbildung 34 markiert diese Grenze. Abbildung 35 zeigt eine 3D Rekonstruktion des Filet- bzw. Lendenbereichs.



**Abbildung 35: 3D-Schema eines Filets bzw. einer Lende inklusiver Fettauflagerung.** Rot: Musculus psoas major, Blau: Musculus longissimus lumborum, Gelb: Fettgewebe

### 3.2.3 Untersuchung mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie

Die Untersuchung der Schlachtkörperhälften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie erfolgte direkt im Anschluss an die MRT-Untersuchung. Hierzu wurden die Schlachtkörper auf dem GE Lunar iDXA des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim untersucht. Bevor die Schweine untersucht wurden, wurde der DXA-Scanner einer Qualitätskontrolle unterzogen. Hierbei wurde sowohl die Funktionsfähigkeit als auch die Messgenauigkeit mithilfe eines Phantoms festgestellt.

Die Hälften wurden mit der Knochenseite auf den Scanner gelagert (siehe Abbildung 36) und eine Ganzkörperuntersuchung durchgeführt.



**Abbildung 36: Scanvorgang einer Schlachtkörperhälfte mittels GE Lunar iDXA am DXA-Gerät des Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim.**

Alle Schlachtkörper wurden mit dem Scannmodus „Standard“ ( $3 \mu\text{Gy}$ ; mA: 0,188; Zeit: 7:16 min) gescannt. Nachdem die Hälften mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie gescannt wurden, ermittelte die Software automatisch Werte für die Knochenmineraldichte (BMD,  $\text{g}/\text{cm}^2$ ), den Knochenmineralgehalt (BMC, g), die Fläche des Knochengewebes ( $\text{cm}^2$ ), den Fettgehalt (%), das Magerweichgewebe (g), das Fettgewebe (g) und das gesamte Weichgewebe (g), bestehend aus der Summe von Fett- und Magerweichgewebe. Diese

Ergebnisse können sowohl für den gesamten Schlachtkörper als auch für einzelne Regionen ausgewertet werden. Mit der sogenannten „Regions of Interest“ (ROI)-Funktion wurde der Schlachtkörper in sechs Regionen unterteilt. Diese Regionen wurden am Bildschirm virtuell eingezeichnet (siehe Abbildung 37) und deren Zusammensetzung bezüglich Magerweichgewebe, Fettgewebe, Knochenmineralgehalt, Knochenmineraldichte, gesamtes Weichgewebe und die Fläche des Knochengewebes automatisch mittels Software analysiert.

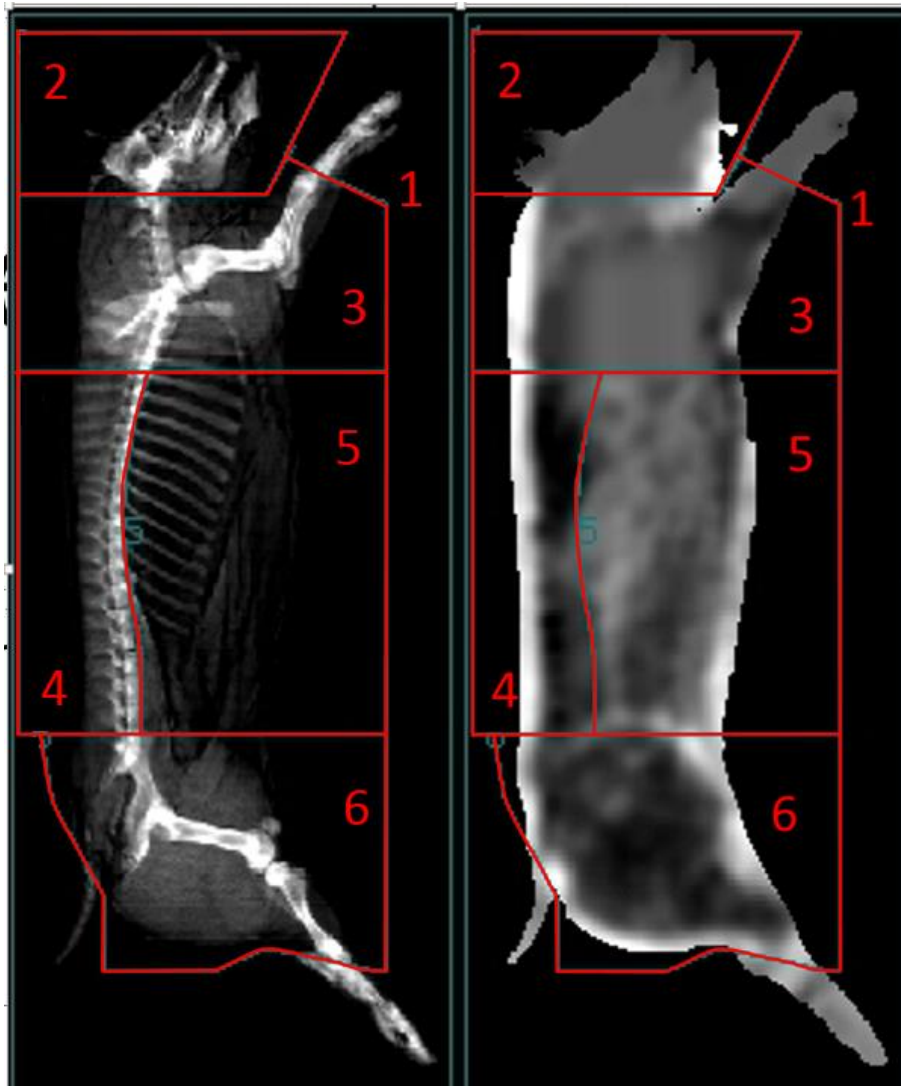


Abbildung 37: DXA-Bild mit den bereits eingezeichneten Teilregionen:

- 1 = Gesamtkörper
- 2 = Kopf
- 3 = Schulter
- 4 = Rücken
- 5 = Bauch
- 6 = Hintergliedmaße

## Material und Methoden

Es wurden die folgenden Regionen definiert:

Region 1 = Gesamtkörper: umfasst den gesamten Schlachtkörper.

Region 2 = Kopf: beinhaltet den Kopfbereich bis zur Schädelbasis (*Occiput*).

Region 3 = Schulter: beschreibt den Bereich zwischen der Schädelbasis (*Occiput*) und dem caudalem Ende des Schulterblattes. Das distale Ende des Unterarms bildet die Grenze an der Gliedmaße.

Region 4 = Rücken: beginnt am caudalen Ende des Schulterblattes und endet am Kreuzbein. Die Wirbelsäule bildet die ventrale Grenze.

Region 5 = Bauch: beschreibt den Bereich ventral der Rückenregion.

Region 6 = Hintergliedmaße: umfasst den Bereich caudal der Wirbelsäule. Das distale Ende des Unterschenkels bildet die Grenze an der Hintergliedmaße. Der Schwanz inklusive der Anogenitalregion wurde ebenfalls von der Region ausgeschlossen, da er nicht bei allen Tieren vorhanden war.

Insgesamt liegen somit für alle sechs Regionen (Gesamtkörper, Kopf, Schulter, Rücken, Bauch und Hintergliedmaße) Ergebnisse für die Knochenmineraldichte (BMD, g/cm<sup>2</sup>), den Knochenmineralgehalt (BMC, g), die Fläche des Knochengewebes (cm<sup>2</sup>), den Fettgehalt (%), das Magerweichgewebe (g), das Fettgewebe (g) und das gesamte Weichgewebe (g) vor. Abbildung 38 zeigt ein vollständiges Ergebnisblatt eines Tieres.

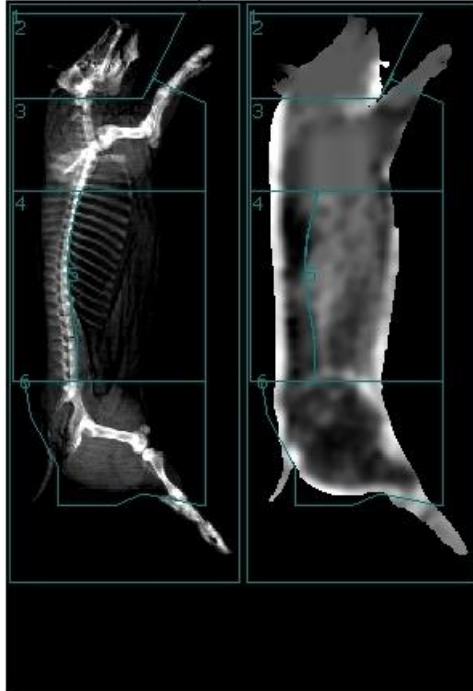


## Lehr -und Versuchsgut Oberschleißheim

St. Hubertusstrasse 12  
85764 Oberschleißheim

<b>Patient:</b>	6560, Kastrat III	<b>Patientenkennung:</b>	3
<b>Geburtsdatum:</b>	31.01.2014 5 Monate		
<b>Größe / Gewicht:</b>	190,0 cm 89,0 kg	<b>Gemessen:</b>	15.07.2014 12:44:06 (13,50)
<b>Geschl. / Ethn.:</b>	Männlich Andere	<b>Analysiert:</b>	15.10.2014 10:49:08 (13,50)

Ganzkörper Custom Results



Bereich <sup>8</sup>	BMD (g/cm <sup>3</sup> )	BMC (g)	Fläche (cm <sup>2</sup> )
1	0,634	882,0	1.390
2	0,689	161,1	234
3	0,813	261,8	322
4	0,518	97,7	189
5	0,224	61,0	272
6	0,845	192,7	228

Bereich <sup>8</sup>	Gewebe (%Fett)	Gewebe (g)	Fett (g)	Mager (g)
1	19,3	37.463	7.230	30.233
2	23,2	2.370	551	1.819
3	21,8	10.561	2.304	8.257
4	16,1	5.430	872	4.559
5	21,7	7.050	1.533	5.517
6	15,5	11.236	1.740	9.496

Kommentare:

Bild nicht für Diagnosezwecke

Gedruckt: 15.10.2014 10:58:44 (13,50)100:0,19:153,85:15,6 0,00:-1,00  
2,40x3,04 8,1:%Fett=19,4%  
0,00:0,00 0,00:0,00  
Dateiname: ug1r8n4atb.meb  
Scanmodus: Standard 3,0 µGy

<sup>8</sup> -Die individuellen Ergebnisse sind nur für Forschungszwecke, nicht für den klinischen Einsatz bestimmt.

WARNUNG - Untersuchungsgerät. Durch Bundesgesetze auf Untersuchungs-zwecke beschränkt.



GE Healthcare

Lunar iDXA  
ME+200639

Abbildung 38: Vollständiges Ergebnisblatt eines Tieres mit den ausgewerteten Daten der 6 Regionen.



### 3.2.4 Auswertung der Daten

Die varianzanalytische Auswertung der Daten erfolgte mittels des Programms SAS 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Es wurden zwei statistische Berechnungen durchgeführt. Als erstes statistisches Modell wurde ein Mischmodell mit dem fixen Effekt Geschlecht, der Kovariable Gewicht und dem zufälligen Effekt Untersuchungsdatum unter Verwendung der REML-Methodik (restricted maximum likelihood) analysiert. Die Signifikanzgrenze wurde mit  $p \leq 0,05$  festgelegt.

$$\text{Mischmodell: } Y_{ijk} = G_i + u_j + \beta SG_{ijk} + e_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Beobachtung

$G_i$  = fixer Effekt Geschlecht;  $i = 1, 2, 3$  (Eber, Kastrat, Immunokastrat)

$u_j$  = Zufallseffekt Untersuchungsdatum ( $j = 1-6$ )

$\beta SG_{ijk}$  = Kovariable Schlachtgewicht

$e_{ijk}$  = zufälliger Restfehler

Die zweite statistische Auswertung der Beziehungen zwischen den Ergebnissen der MRT-Regionen und den DXA-Gesamtkörperergebnissen (Fett und Magerweichgewebe) erfolgte mittels multipler Regressionsanalyse (Proc Reg) der Software SAS 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Für alle drei Geschlechter wurde ausgewertet, welche untersuchte MRT-Region am besten für die Vorhersage der Körperzusammensetzung geeignet ist. Als Referenz für die Körperzusammensetzung wurden die ermittelten DXA-Gesamtkörperwerte (Fett und Magerweichgewebe) verwendet. Als Signifikanzlevel für Aufnahme und Verbleib in der Regressionsgleichung wurde  $p \leq 0,05$  festgelegt. Als Maß für die Beziehung zwischen MRT-Region(en) und der DXA-Referenz wird das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) in Kombination mit dem Standardschätzfehler (RMSE = Root Mean Squared Error) verwendet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der MRT Auswertung

Die MRT-Bilder wurden wie bereits im Kapitel Material und Methoden beschrieben, bezüglich ihres Muskel- und Fettvolumens [mm<sup>3</sup>] ausgewertet. Die folgenden Tabellen stellen die kleinsten Quadrate Mittelwerte für die Muskel- und Fettvolumina der verschiedenen Regionen dar. Der kleinste Quadrate Mittelwert wird in den folgenden Tabellen jeweils mit LSM (Least Squares Means) und der Standardschätzfehler mit SEE (Standard Error of Estimation) abgekürzt. Die Gruppe der Immunokastraten wurde mit „Immunokast.“ abgekürzt. Die Abkürzung „Sch.“ steht für Schnittbild(-er).

#### 4.1.1 MRT Kotelett

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Kotelettregion. Es liegen sowohl Werte für das erste Schnittbild (1 Sch.), als auch Werte für das Volumen von drei Schnittbildern (3 Sch.) vor. Die Fettvolumina zeigen für alle drei Geschlechter einen signifikanten Unterschied, wobei Eber die geringste Fettauflage haben, die Kastraten die größte Fettauflage am Kotelett aufweisen und die Immunokastraten zwischen den zwei vorhergenannten Geschlechtern liegen. Die Muskelvolumina zeigen keine signifikanten Unterschiede.

**Tabelle 11: MRT Ergebnisse Kotelettregion**

	Kotelett Muskel 1 Sch.		Kotelett Fett 1 Sch.		Kotelett Muskel 3 Sch.		Kotelett Fett 3 Sch.	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	92252	2030,60	13227 <sup>a</sup>	1219,39	288852	5295,62	50602 <sup>a</sup>	4029,54
Immunokast.	90886	1988,45	16133 <sup>b</sup>	1192,9	286138	5200,87	61556 <sup>b</sup>	3943,87
Kastrat	91921	2081,73	19107 <sup>c</sup>	1243,57	291649	5445,25	69239 <sup>c</sup>	4093,91

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

## Ergebnisse

### 4.1.2 MRT Schinken

Die Ergebnisse des Schinkens beruhen auf einer Untersuchung von 5 Schnittbildern im Schinkenbereich. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse des Schinkenbereichs. Ein geringerer Muskelansatz im Schinkenbereich der Kastraten wird deutlich, unterscheidet sich aber nicht signifikant von den anderen Geschlechtern. Im Fettansatz sind die Ergebnisse signifikant verschieden: Kastraten haben das größte Fettvolumen, gefolgt von den Immunokastraten und Ebern. Insbesondere der große Unterschied zwischen Ebern und Kastraten ist auffällig (Tabelle 12).

**Tabelle 12: MRT Ergebnisse Schinkenregion**

<b>Geschlecht</b>	Schinken Muskel 5 Schnittbilder		Schinken Fett 5 Schnittbilder	
	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	2667427	24860	284443 <sup>a</sup>	12531
Immunokast.	2660959	24833	314532 <sup>b</sup>	12269
Kastrat	2626584	25236	396598 <sup>c</sup>	12842

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.1.3 MRT Schulter

Das erste Schnittbild der Schulter (Tabelle 13) zeigt, dass die Eber signifikant mehr Muskelfleisch in diesem Schulter-Schnittbild besitzen als die Kastraten. Alle 5 Schnittbilder vergleichend (Tabelle 14) zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Ebern und Immunokastraten. Hier haben die Eber die größten Muskelvolumina gefolgt von den Kastraten, wobei die Immunokastraten die geringste Muskelaufgabe in diesem Bereich aufweisen. Die Ergebnisse der Fettmessung im Schulterbereich zeigen, dass die Eber die geringste Fettauflage unter den drei Geschlechtern haben und dass die Kastraten eine signifikant höhere Fettgewebsauflage als die Eber und Immunokastraten sowohl für 1 Schnittbild als auch für alle 5 Schnittbilder zeigen.

## Ergebnisse

**Tabelle 13: MRT Ergebnisse Schulterregion 1. Schnittbild**

	Bug Muskel 1 Scheibe vorne		Bug Fett 1 Scheibe vorne	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	567465 <sup>a</sup>	7090,35	41690 <sup>a</sup>	2806,46
Immunokast.	547862 <sup>ab</sup>	7081,14	43633 <sup>a</sup>	2746,83
Kastrat	541721 <sup>b</sup>	7311,55	55308 <sup>b</sup>	2894,07

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 14: MRT Ergebnisse Schulterregion 5 Schnittbilder**

	Bug Muskel 5 Sch.		Bug Fett 5 Sch.	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	3074428 <sup>a</sup>	37024	307244 <sup>a</sup>	16181
Immunokast.	2924016 <sup>b</sup>	36976	324812 <sup>a</sup>	15827
Kastrat	3016655 <sup>ab</sup>	38179	389036 <sup>b</sup>	16550

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.1.4 MRT Filet

Die Ergebnisse der Filetregion ergeben keinen signifikanten Unterschied, zeigen aber dass Eber tendenziell das größte Muskelvolumen in diesem Bereich besitzen (Tabelle 15).

**Tabelle 15: MRT Ergebnisse Filetregion**

	Filet Muskel 1 Sch.		Filet Muskel 5 Sch.	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	32426	1109,56	178450	6062,00
Immunokast.	30189	1086,80	174473	5933,91
Kastrat	30321	1138,06	171428	6155,71

### 4.1.5 MRT Lende

Die Untersuchung im Lendenbereich ergab signifikante Unterschiede in Bezug auf das Fettvolumen. Die Kastraten weisen das größte Fettvolumen im Lendenbereich auf. Die Eber besitzen das geringste Fettvolumen. Dieses Ergebnis ist sowohl bei einer Scheibe (Tabelle 16), als auch bei 5 Schnittbilder (Tabelle 17) zu sehen.

## Ergebnisse

**Tabelle 16: MRT Ergebnisse 1. Schnittbild Lende**

	Lende Muskel 1 Sch.		Lende Fett 1 Sch.	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	117609	2545,78	14365 <sup>a</sup>	1434,83
Immunokast.	120274	2518,68	21959 <sup>b</sup>	1408,30
Kastrat	120300	2612,38	25797 <sup>c</sup>	1474,94

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabelle 17: MRT Ergebnisse 5 Schnittbilder der Lende**

	Lende Muskel 5 Sch.		Lende Fett 5 Sch.	
<b>Geschlecht</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>LSM [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>SEE [mm<sup>3</sup>]</b>
Eber	633222	11364	14365 <sup>a</sup>	1434,83
Immunokast.	634343	11219	21959 <sup>b</sup>	1408,30
Kastrat	641044	11677	25797 <sup>c</sup>	1474,94

Die unterschiedlichen Superskripts kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

## 4.2 Ergebnisse der DXA Auswertung

### 4.2.1 Gewicht

Das durchschnittliche Schlachtkörpergewicht der Eber lag bei 77,81 kg, das der Immunokastraten bei 78,93 kg und das der Kastraten bei 80,14 kg. Die Gewichtsanalyse mittels DXA ergab jeweils die Gewichte der Schlachtkörperhälften. Um dieses DXA-Gewicht mit den Schlachthofdaten vergleichen zu können, wird es mit dem Faktor 2 multipliziert und in Klammern daneben geschrieben. Sowohl beim DXA- als auch beim Schlachthofgewicht waren die Eber am leichtesten und die Kastraten am schwersten. Die Unterschiede sind zwar nicht signifikant aber doch deutlich erkennbar. Erwartungsgemäß liegen die DXA-Gewichte bei allen Geschlechtern unter den Gewichten die am Schlachthof ermittelt wurden. In den niedrigeren DXA-Gewichten spiegeln sich Verdunstungs- und Schnittverluste wieder.

**Tabelle 18: Gesamtgewicht anhand der Schlachthofdaten und der DXA-Messung**

<b>Geschlecht</b>	<b>Gewicht Schlachthof</b>		<b>DXA-Gewicht</b>	
	<b>LSM [kg]</b>	<b>SEE [kg]</b>	<b>LSM [g bzw. kg]</b>	<b>SEE [g]</b>
Eber	77,82	2,00	38604 (77,21)	1085,08
Immunokast.	78,93	1,97	39002 (78,00)	1064,82
Kastrat	80,14	2,06	39677 (79,35)	1111,60

Die folgende Tabelle (Tabelle 19) zeigt den Gewichtsvergleich für die verschiedenen Regionen. Allein Region 5 (Bauchbereich) zeigt einen signifikanten Unterschied in Bezug auf das Gewicht bzw. die DXA-Gesamtgewebemasse. In diesem Bereich haben die Kastraten ein signifikant höheres Gewicht als die Eber.

**Tabelle 19: DXA-Gewichtsvergleich der Regionen**

<b>DXA Gewicht</b>	<b>Eber</b>		<b>Immunokastrat</b>		<b>Kastrat</b>	
	<b>LSM [g]</b>	<b>SEE [g]</b>	<b>LSM [g]</b>	<b>SEE [g]</b>	<b>LSM [g]</b>	<b>SEE [g]</b>
<b>Region 1</b>	38604	1085,08	39002	1064,82	39677	1111,60
<b>Region 2</b>	2267,10	88,33	2247,29	86,70	2354,18	90,05
<b>Region 3</b>	10688	253,82	10798	249,73	10654	261,48
<b>Region 4</b>	5307,06	231,94	5252,98	227,67	5424,58	238,00
<b>Region 5</b>	7583,10 <sup>a</sup>	280,47	7936,09 <sup>ab</sup>	275,48	8202,81 <sup>b</sup>	288,33
<b>Region 6</b>	11797	322,38	12108	316,36	12135	330,31

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb der Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.2 Magerweichgewebe

Tabelle 20 zeigt die Verhältnisse des absoluten Anteils des Magerweichgewebes. Den Gesamtkörper (Region 1) betrachtend besitzen die Eber die höchste Magerweichgewebemasse und die Kastraten die niedrigste. Dieser Unterschied ist jedoch nur in Region 3 (Schulter) signifikant abgesichert, die anderen Regionen (Ausnahme Region 2) zeigen dieses Phänomen nur tendenziell. In Region 2 (Kopf) zeigen die Kastraten die tendenziell höchste Magerweichgewebemasse.

**Tabelle 20: DXA Magerweichgewebe der Regionen (absolut in g)**

DXA Mager	Eber		Immonukastrat		Kastrat	
	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]
<b>Region 1</b>	32857	830,37	32204	814,81	31540	849,82
<b>Region 2</b>	1656,76	60,67	1626,59	59,49	1694,35	61,83
<b>Region 3</b>	8986,25 <sup>a</sup>	195,64	8765,13 <sup>a</sup>	192,33	8286,33 <sup>b</sup>	201,40
<b>Region 4</b>	4686,91	191,69	4469,36	188,11	4496,08	196,39
<b>Region 5</b>	6449,53	207,80	6216,97	203,98	6344,89	213,25
<b>Region 6</b>	10425	276,97	10448	271,78	10172	283,51

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb der Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

In der folgenden Tabelle (Tabelle 21) werden die relativen Anteile des Magerweichgewebes am Gesamtgewebe dargestellt. Mit Ausnahme der Region 2 (Kopf) gibt es signifikante Unterschiede in allen Regionen. Die Eber verfügen sowohl im Gesamtkörper als auch in den Teilregionen über den höchsten relativen Magerweichgewebeanteil. Die Kastraten verfügen in allen Teilbereichen über den niedrigsten relativen Magerweichgewebeanteil. Die Werte der Immunokastraten liegen zwischen den zwei Geschlechtern. In der Region 2 (Kopf) gibt es zwischen den Immunokastraten und Kastraten keinen signifikanten Unterschied.

**Tabelle 21: DXA Magerweichgewebeanteil (%) der Regionen**

DXA Mager (%)	Eber		Immonukastrat		Kastrat	
	LSM [%]	SEE [%]	LSM [%]	SEE [%]	LSM [%]	SEE [%]
<b>Region 1</b>	85,09 <sup>a</sup>	0,44	82,66 <sup>b</sup>	0,44	79,56 <sup>c</sup>	0,45
<b>Region 2</b>	73,19 <sup>a</sup>	0,48	72,59 <sup>b</sup>	0,47	72,15 <sup>b</sup>	0,48
<b>Region 3</b>	84,20 <sup>a</sup>	0,49	81,25 <sup>b</sup>	0,49	77,79 <sup>c</sup>	0,50
<b>Region 4</b>	88,46 <sup>a</sup>	0,49	85,35 <sup>b</sup>	0,49	83,24 <sup>c</sup>	0,49
<b>Region 5</b>	85,24 <sup>a</sup>	0,72	81,84 <sup>b</sup>	0,71	77,52 <sup>c</sup>	0,74
<b>Region 6</b>	88,34 <sup>a</sup>	0,37	86,35 <sup>b</sup>	0,36	83,81 <sup>c</sup>	0,38

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.3 Fettgewebe

Die absoluten Fettwerte (Tabelle 22) zeigen sowohl für den Gesamtkörper als auch für die Teilregionen signifikante Unterschiede. Die Eber haben den geringsten absoluten Fettanteil und die Kastraten den höchsten. Mit Ausnahme der Region 2 (Kopf) ist diese Reihenfolge

## Ergebnisse

immer signifikant abgesichert. In Region 2 (Kopf) unterscheiden sich lediglich Eber nicht signifikant von den Immunokastraten.

**Tabelle 22: DXA Fettgewebe der Regionen (absolut, g)**

DXA Fett	Eber		Immunokastrat		Kastrat	
	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]
<b>Region 1</b>	4826,70 <sup>a</sup>	280,97	5868,52 <sup>b</sup>	276,85	7143,24 <sup>c</sup>	289,61
<b>Region 2</b>	423,12 <sup>a</sup>	24,85	430,18 <sup>a</sup>	24,42	474,40 <sup>b</sup>	25,25
<b>Region 3</b>	1448,40 <sup>a</sup>	73,24	1767,92 <sup>b</sup>	73,24	2109,31 <sup>c</sup>	75,14
<b>Region 4</b>	510,17 <sup>a</sup>	45,42	673,88 <sup>b</sup>	45,02	818,16 <sup>c</sup>	46,68
<b>Region 5</b>	1066,67 <sup>a</sup>	86,68	1349,67 <sup>b</sup>	85,56	1784,26 <sup>c</sup>	89,32
<b>Region 6</b>	1156,99 <sup>a</sup>	60,59	1427,98 <sup>b</sup>	59,63	1732,62 <sup>c</sup>	62,43

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

Die Ergebnisse des relativen Fettgehaltes (Tabelle 23) zeigen die gleichen signifikanten Unterschiede wie bereits in Punkt 4.2.3 beschrieben.

**Tabelle 23: DXA Fettgewebeanteil (%) der Regionen**

DXA Fett (%)	Eber		Immunokastrat		Kastrat	
	LSM [%]	SEE [%]	LSM [%]	SEE [%]	LSM [%]	SEE [%]
<b>Region 1</b>	12,34 <sup>a</sup>	0,47	14,80 <sup>b</sup>	0,47	17,85 <sup>c</sup>	0,49
<b>Region 2</b>	18,52 <sup>a</sup>	0,53	18,88 <sup>a</sup>	0,53	19,93 <sup>b</sup>	0,54
<b>Region 3</b>	13,33 <sup>a</sup>	0,52	16,09 <sup>b</sup>	0,51	19,61 <sup>c</sup>	0,53
<b>Region 4</b>	9,37 <sup>a</sup>	0,48	12,44 <sup>b</sup>	0,48	14,65 <sup>c</sup>	0,49
<b>Region 5</b>	13,69 <sup>a</sup>	0,76	17,10 <sup>b</sup>	0,75	21,51 <sup>c</sup>	0,78
<b>Region 6</b>	9,75 <sup>a</sup>	0,37	11,66 <sup>b</sup>	0,37	14,24 <sup>c</sup>	0,38

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.2.4 Bone Mineral Density (BMD) = Knochenmineraldichte

Eber haben eine signifikant geringere Knochenmineraldichte im Gesamtkörper (Region 1), in Region 3 (Schulter) und in Region 6 (Schinken) als die Immunokastraten und die Kastraten. In Region 4 (Rücken) zeigen Eber nur gegenüber Kastraten eine signifikant geringere Knochenmineraldichte (Tabelle 24).



Tabelle 24: Knochenmineraldichten (BMD, g/cm<sup>2</sup>) der Regionen

DXA BMD	Eber		Immonukastrat		Kastrat	
	LSM [g/cm <sup>2</sup> ]	SEE [g/cm <sup>2</sup> ]	LSM [g/cm <sup>2</sup> ]	SEE [g/cm <sup>2</sup> ]	LSM [g/cm <sup>2</sup> ]	SEE [g/cm <sup>2</sup> ]
<b>Region 1</b>	0,715 <sup>a</sup>	0,010	0,748 <sup>b</sup>	0,010	0,751 <sup>b</sup>	0,010
<b>Region 2</b>	0,823	0,014	0,844	0,014	0,822	0,015
<b>Region 3</b>	0,874 <sup>a</sup>	0,011	0,913 <sup>b</sup>	0,011	0,932 <sup>b</sup>	0,011
<b>Region 4</b>	0,606 <sup>a</sup>	0,013	0,626 <sup>ab</sup>	0,013	0,644 <sup>b</sup>	0,013
<b>Region 5</b>	0,276	0,008	0,287	0,008	0,289	0,008
<b>Region 6</b>	0,966 <sup>a</sup>	0,012	1,015 <sup>b</sup>	0,012	1,019 <sup>b</sup>	0,012

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2.5 Bone Mineral Content (BMC) = Knochenmineralgehalt

Der Gesamtkörper (Region 1) weist keine signifikanten Unterschiede im Knochenmineralgehalt auf. Tendenziell haben Eber einen geringeren Knochenmineralgehalt als Immunokastraten. Dieses Phänomen wird in der Region 3 (Schulter) und Region 6 (Schinken) statistisch signifikant bestätigt.

Tabelle 25: Knochenmineralgehalte (BMC, g) der Regionen

DXA BMC	Eber		Immonukastrat		Kastrat	
	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]	LSM [g]	SEE [g]
<b>Region 1</b>	990,81	22,52	1028,74	22,22	1009,52	23,21
<b>Region 2</b>	187,71	5,86	190,79	5,76	185,14	6,03
<b>Region 3</b>	262,68 <sup>a</sup>	8,32	281,54 <sup>b</sup>	8,18	273,84 <sup>ab</sup>	8,56
<b>Region 4</b>	115,45	2,89	114,78	2,87	114,96	2,95
<b>Region 5</b>	78,30	3,48	77,89	3,42	80,08	3,56
<b>Region 6</b>	226,06 <sup>a</sup>	4,83	238,66 <sup>b</sup>	4,78	234,32 <sup>ab</sup>	4,97

Die unterschiedlichen Superskripts innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.3 Vergleich zwischen MRT-Regionen und dem DXA Gesamtkörper

Tabelle 26 bis Tabelle 29 zeigen die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse, in welche alle erfassten MRT-Regionen als potentielle Variable eingingen. Als Beispiel wird die Regressionsgleichung der Eber angeführt, die DXA-Fett (Prozent) des Gesamtkörpers als Referenz verwendete.

$$\begin{aligned} \text{Multiple Regression: DXA-Fett (\%)} = & 4,07 + 0,0000086 \times \text{Schinken Fett 5 Scheiben (mm}^3) \\ & + 0,000014 \times \text{Bug Fett 5 Scheiben (mm}^3) \\ & + 0,00018 \times \text{Lende Fett 1 Scheibe (mm}^3) \end{aligned}$$

#### 4.3.1 Eber

Beim Eber kann mit der Region "Bug Fett 5 Scheiben" ( $R^2=0,59$ ) die DXA-Fett-Gesamtkörperzusammensetzung am besten vorhergesagt werden. Mit zwei zusätzlichen Regionen (Lende Fett 1 Scheibe und Schinken Fett 5 Scheiben) kann das Bestimmtheitsmaß auf  $R^2=0,74$  (RMSE:1,02%) gesteigert werden. Für die DXA-Mager-Gesamtkörperzusammensetzung trägt neben den drei Fettmessungen zusätzlich die Region Kotelett Muskel 3 Scheiben signifikant zur Variation bei.

**Tabelle 26: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Eber nach einer "stepwise" Regressionsanalyse**

Referenz: <b>DXA Fett</b> Gesamtkörper (%)			Referenz: <b>DXA Mager</b> Gesamtkörper (%)		
<b>MRT Region</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>RMSE[%]</b>	<b>MRT Region</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>RMSE[%]</b>
Bug Fett 5 Scheiben	0,59	<b>1,02</b>	Bug Fett 5 Scheiben	0,56	<b>1,05</b>
+Lende Fett 1 Scheibe	0,70		+Lende Fett 1 Scheibe	0,65	
+Schinken Fett 5 Scheiben	<b>0,74</b>		+Schinken Fett 5 Scheiben	0,70	
			+Kotelett Muskel 3 Scheiben	<b>0,74</b>	

$R^2$ =Bestimmtheitsmaß, RMSE= root mean squared error

#### 4.3.2 Kastraten

Der DXA-Fettgesamtkörperanteil der Kastraten lässt sich mit Hilfe der Regionen "Bug Fett 5 Scheiben", "Schinken Fett 5 Scheiben" und "Kotelett Muskel 3 Scheiben" am genauesten

## Ergebnisse

vorhersagen ( $R^2=0,70$ ;  $RMSE=1,39\%$ ). Die gleichen Regionen haben auch die engste multiple Beziehung zum DXA-Magerweichgewebeanteil des gesamten Schlachtkörpers (%) mit  $R^2=0,67$  und  $RMSE=1,46\%$ .

**Tabelle 27: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Kastraten nach einer "stepwise" Regressionsanalyse**

Referenz: DXA Fett Gesamtkörper (%)			Referenz: DXA Mager Gesamtkörper (%)		
MRT Region	$R^2$	RMSE[%]	MRT Region	$R^2$	RMSE[%]
Bug Fett 5 Scheiben	0,47	<b>1,39</b>	Bug Fett 5 Scheiben	0,44	<b>1,46</b>
+Schinken Fett 5 Scheiben	0,63		+Schinken Fett 5 Scheiben	0,6	
+Kotelett Muskel 3 Scheiben	<b>0,7</b>		+Kotelett Muskel 3 Scheiben	<b>0,67</b>	

$R^2$ =Bestimmtheitsmaß,  $RMSE$ = root mean squared error

### 4.3.3 Improvac

Bei den immunokastrierten Tieren kann mit der Region Schinken Fett 5 Scheiben der DXA-Fettgesamtkörperanteil am besten vorhergesagt werden. Mit den zusätzlichen Regionen (Bug Fett 5 Scheiben, Bug Muskel 5 Scheiben und Kotelett Fett 1 Scheibe) kann das Bestimmtheitsmaß auf  $R^2=0,77$  ( $RMSE=1,29\%$ ) gesteigert werden. Für den DXA-Magerweichgewebeanteil (%) sind die Regionen Schinken Fett 5 Scheiben, Bug Fett 5 Scheiben und Bug Muskel 5 Scheiben von wesentlicher Bedeutung ( $R^2=0,70$ ;  $RMSE=1,43\%$ ).

**Tabelle 28: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe, %) anhand von MRT-Regionen für Immunokastraten nach einer "stepwise" Regressionsanalyse**

Referenz: DXA Fett Gesamtkörper (%)			Referenz: DXA Mager Gesamtkörper (%)		
MRT Region	$R^2$	RMSE[%]	MRT Region	$R^2$	RMSE[%]
Schinken Fett 5 Scheiben	0,62	<b>1,29</b>	Schinken Fett 5 Scheiben	0,57	<b>1,43</b>
+Bug Fett 5 Scheiben	0,68		+Bug Fett 5 Scheiben	0,63	
+Bug Muskel 5 Scheiben	0,73		+Bug Muskel 5 Scheiben	<b>0,7</b>	
+Kotelett Fett 1 Scheibe	<b>0,77</b>				

$R^2$ =Bestimmtheitsmaß,  $RMSE$ = root mean squared error

## Ergebnisse

### 4.3.4 Geschlechter übergreifend

Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse der multiplen Regression aller 101 untersuchten Tiere ohne geschlechtsspezifische Trennung. Die Ergebnisse zeigen dass die vier Regionen (Schinken Fett 5 Scheiben, Bug Fett 5 Scheiben, Bug Muskel 5 Scheiben, Lende Fett 1 Scheibe) betrachtet werden müssen um die prozentualen DXA-Gesamtweichgewebeanteile relativ exakt ( $p < 0,05$ ) vorhersagen zu können (DXA Fett (%):  $R^2 = 0,80$ ; RMSE=1,45 %, DXA Magerweichgewebe (%):  $R^2 = 0,78$ ; RMSE=1,53 %).

**Tabelle 29: Vorhersage der DXA Gesamtkörperweichgewebeanteile (Fett- bzw. Magerweichgewebe) anhand von MRT-Regionen für alle Tiere nach einer "stepwise" Regressionsanalyse**

Referenz: DXA Fett Gesamtkörper			Referenz: DXA Mager Gesamtkörper		
MRT Region	R <sup>2</sup>	RMSE[%]	MRT Region	R <sup>2</sup>	RMSE[%]
Schinken Fett 5 Scheiben	0,66	<b>1,45</b>	Schinken Fett 5 Scheiben	0,63	<b>1,53</b>
+Bug Fett 5 Scheiben	0,76		+Bug Fett 5 Scheiben	0,73	
+Bug Muskel 5 Scheiben	0,79		+Bug Muskel 5 Scheiben	0,76	
+Lende Fett 1 Scheibe	<b>0,8</b>		+Lende Fett 1 Scheibe	<b>0,78</b>	

R<sup>2</sup>=Bestimmtheitsmaß, RMSE= root mean squared error

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion Material und Methoden

#### 5.1.1 Tiermaterial

Die Schweine wurden alle mit dem gleichen Futter gefüttert und im gleichen Haltungssystem gehalten, um fütterungs- und haltungsbedingte Unterschiede der Körperzusammensetzung auszuschließen. Nach der Schlachtung wurden die rechten Schweinehälften am Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim auf eine Kerntemperatur von 7°C gekühlt. Diese gleichmäßige Kühltemperatur war notwendig, um die jahreszeitlich bedingten Außentemperaturunterschiede auszuschalten und ermöglichte eine einheitliche Schlachtkörpertemperatur bei der Untersuchung.

#### 5.1.2 Methoden

Die Schlachtkörper wurden mittels MRT und DXA untersucht. Die MRT wurde von mehreren Autoren als geeignete Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung beschrieben (BAULAIN & HENNING, 2001; MITCHELL et al., 2001a; BAULAIN et al., 2003; BAULAIN et al., 2010). SCHOLZ & BAULAIN (2009) verglichen verschiedene Methoden zur indirekten Messung der Körperzusammensetzung und befanden die Magnetresonanztomographie als eine gute Möglichkeit Fett-, Muskel- und Weichgewebe zu analysieren, da mit der MRT überlagerungsfreie Schnittbilder erzeugt werden, die sich vor allem durch einen hohen Weichgewebekontrast auszeichnen. Die dreidimensionale Bilddarstellung mittels Software ermöglicht es Muskelvolumina zu berechnen, welche u.a. geschlechtsspezifisch untereinander verglichen werden können.

Die Auswertung der Magnetresonanzbilder dieser Dissertation wurde manuell und halbautomatisch durchgeführt. Um die Fehlerquote möglichst gering zu halten, wurden alle Bilder von der gleichen Person ausgewertet. Außerdem wurden sowohl anatomisch markante Punkte als auch kleine Wasserröhrchen als Orientierungshilfe verwendet, um bei allen Tieren die gleichen Körperbereiche zu analysieren. Bei einem Tier (Kastrat) konnten die

MRT-Bilder der Schulterregion aufgrund einer verminderten Bildqualität nicht ausgewertet werden.

Die Regionen Kotelett, Schulter, Schinken, Lende und Filet wurden für die Auswertung der MRT-Bilder ausgewählt, weil diese Regionen einerseits mithilfe der Software 3D Doctor gut auszuwerten bzw. eindeutig zu definieren sind und andererseits eine wirtschaftlich große Bedeutung haben. Die Untersuchung der 1. Schnittstelle des Koteletts dieser Arbeit kann mit der Klassifizierung am Schlachthof verglichen werden, da beide Untersuchungen im Bereich der vorletzten Rippe stattfinden. Die Schulterregion wurde ausgewählt, weil die Untersuchung von BAULAIN *et al.* (2010) zu dem Ergebnis kam, dass für die magere Pietrain-Rasse die MRT-Analyse der Schulter ausreicht, um den Muskelgehalt des gesamten Schlachtkörpers zu beurteilen. Die Aussage von THOLEN *et al.* (2003), dass die Bauchregion aufgrund der Muskelstruktur im Schweinebauch schwierig auszuwerten ist, konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Aufgrund dieser komplizierten Muskelstruktur wurde die Bauchregion in der vorliegenden Arbeit für die MRT-Auswertung nicht berücksichtigt.

Es wurde versucht mehrere Schnittbilder einer Region mithilfe des 3D Doctors zusammenzufassen, da MITCHEL *et al.* (2001) herausfanden, dass MRT Volumina von großen Geweben und Organen die größte Übereinstimmung mit dem Gewicht der Zerlegung haben.

Die Untersuchungen von MITCHELL *et al.* (1998), SCHOLZ *et al.* (2002), SUSTER *et al.* (2003) ergaben, dass die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie eine geeignete Methode zur Analyse der Körperzusammensetzung ist, auch wenn MITCHELL *et al.* (2000) herausfanden, dass die DXA-Untersuchung (mit einem GE Lunar DPX-L Scanner) mit steigendem Gewicht im Vergleich zur chemischen Analyse einen leicht überschätzten Fettanteil ermittelt und, dass die DXA bei schwereren Tieren den Knochenmineralgehalt unterschätzt.

Im Vergleich der Methoden zur indirekten Ermittlung der Körperzusammensetzung von SCHOLZ & BAULAIN (2009) wurde die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie beschrieben als eine Methode mit der Fett-, Magerweichgewebe, Knochenmineralgehalt, -dichte und die Gesamtgewebemasse ermittelt werden kann. Hervorzuheben ist die einfache, schnelle und

genaue Datenauswertung. Außerdem können regionale Ergebnisse erstellt werden, in dem der untersuchte Körper am Bildschirm virtuell unterteilt wird.

Nachdem das DXA-Gerät vor den Untersuchungen einer Qualitätskontrolle unterzogen wurde, wobei sowohl die Funktionsfähigkeit als auch die Messgenauigkeit mithilfe eines Phantoms festgestellt wurden, war eine gleichmäßige Analyse vorausgesetzt. Die Untersuchungsperson hatte somit lediglich bei der Einteilung der Regionen einen Einfluss, welche mit Hilfe von markanten Knochenpunkten als Grenzlinien eingeteilt wurden. Um eine gleiche Einteilung der Regionen bei allen Schweinen durchzuführen, wurde das erste DXA-Bild ausgedruckt und diente als Vorlage bei der Einteilung der Regionen der übrigen Schweine.

### 5.2 Diskussion MRT-Ergebnisse

Die Ergebnisse der MRT-Bilder dieser Arbeit zeigen, dass die **Eber** in allen untersuchten Bereichen (Kotelett, Schinken, Schulter, Lende) **signifikant die geringsten Fettvolumina** haben und die Kastraten signifikant das größte Fettvolumen besitzen. Die Immunokastraten nehmen eine mittlere Position ein. Dieses Ergebnis bestätigt die Untersuchungen des Bundesebermastversuches von DOBROWOSLKI *et al.* (1995) bei dem die Schlachtkörper der Kastraten 25,7 Prozent Gesamtfett enthielten während die Eber nur 17,9 Prozent Fett am gesamten Schlachtkörper aufwiesen. Aktuelle Untersuchungen von BAUER & JUDAS (2014) bei denen Eber 19 Prozent und Kastraten 25 Prozent Gesamtfett aufwiesen, unterstreichen die vorliegenden MRT-Ergebnisse dieser Arbeit.

Im Vergleich des Muskelfleisches der Regionen (Ausnahme Schulterregion) gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Geschlechtern. Tendenziell zeigen **Eber größere Muskelvolumina** im Bereich des **Schinkens**, der **Schulter** und des **Filets** verglichen mit Immunokastraten und Kastraten.

Im Bereich der **Lende** besitzen **Eber** das **geringste** und **Kastraten** das **größte Muskelvolumen**. Diese Ergebnisse sind nicht signifikant, die Lendenregion unterscheidet sich dennoch von den anderen Regionen in Bezug auf den Muskelansatz, da Eber im Lendenbereich ein vermindertes Muskelvolumen zeigen, obwohl Eber in den anderen untersuchten Regionen

ein gestiegenes Muskelvolumen aufweisen. Der Lendenbereich eignet sich somit nicht als geeignete Stelle um die Gesamtkörperzusammensetzung des Ebers zu schätzen.

Die Ergebnisse des Muskelvolumens der Schulter zeigen, dass die **Eber** das **größte Muskelvolumen** in der **Schulter** haben. Der signifikante Unterschied zwischen Ebern ( $567465 \pm 7090 \text{ mm}^3$ ) und Kastraten ( $541721 \pm 7311 \text{ mm}^3$ ) im 1 Schnittbild unterstreicht das Ergebnis von DOBROWOLSKI *et al.* (1995) und BAUER & JUDAS (2014), dass Eber in der Bug-Kamm-Region mehr Muskelfleisch als Kastraten haben. Die Muskelergebnisse aller 5 Schnittbilder zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen Ebern ( $3074428 \pm 37024 \text{ mm}^3$ ) und Immunokastraten ( $2924016 \pm 36976 \text{ mm}^3$ ). Dass die Immunokastraten ( $2924016 \pm 36976 \text{ mm}^3$ ) in der Schulterregion bei der Auswertung von 5 Schnittbildern weniger Muskelvolumen als die Kastraten ( $3016655 \pm 38179 \text{ mm}^3$ ) aufweisen, ist überraschend. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Auswertung des Schulterbereichs von den ausgewerteten Regionen am schwierigsten war. Der Startpunkt für die Messung war die Vereinigung von Gliedmaße und Rumpf, dieser war schwierig festzulegen, da es keinen fixen Knochenpunkt zur Orientierung gab. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich sollten abklären, ob es sich ursächlich um einen Messfehler, individuelle Streuung oder eine zu kleine Stichprobe handelt. Die Ergebnisse der Schulterregion in dieser Arbeit beziehen sich auf die Muskel- und Fettauflagen des Oberarms und Schulterblattes. Dies sollte beim Vergleichen mit anderen Untersuchungen, die nur in der Schulter durchgeführt wurden, beachtet werden.

Somit können die Ergebnisse des Bundesebermastversuches von 1995 und die Aussagen der Autoren HANSEN & LEWIS (1993); ANDERSSON *et al.*, (1997) BAUMGARTNER (2008), ADAM (2009), BAUER & JUDAS (2014), dass die Eber mehr Muskelfleisch besitzen, mithilfe der MRT-Untersuchung der vorliegenden Arbeit zwar tendenziell für die Regionen Schinken, Schulter und Filet bestätigt, jedoch nicht signifikant abgesichert werden.

Das Ergebnis des Koteletts zeigt im 1. Schnittbild (Bereich der vorletzten Rippe), dass Eber tendenziell mehr Muskelfleisch ansetzen als die anderen zwei Geschlechter. Das Volumen aller 3 Schnittbilder zusammengefasst besagt, dass Kastraten mehr Muskelvolumen besitzen. Gerade der Bereich des Koteletts ist sehr interessant in Bezug auf die Klassifizierung der Schlachtkörper. In Bayern werden zurzeit 100 % der Mastschweine nach dem HGP4 (Hennessy Grading Probe) System in die Handelsklassen eingestuft und bezahlt (Telefonat mit



dem Fleischprüfing Bayern e.V. am 29.10.2014 bzw. Telefonat mit Dr. Hans Wirth, Fleischhygieneamt Vilshofen a. d. Donau, Landkreis Passau am 07.01.2015). Bei diesem Klassifizierungssystem wird im Bereich der vorletzten Rippe mit einer Einstichsonde in den Schlachtkörper eingestochen. Beim Herausziehen der Sonde, werden mit Hilfe einer Lichtquelle und einer Fotozelle, Strecken unterschiedlicher Helligkeit aufgrund verschiedener Reflexionsniveaus abgegrenzt. Die gemessenen Muskel- und Speckwerte werden in einer Formel eingesetzt und der Muskelfleischanteil des gesamten Schlachtkörpers geschätzt.

DOBROWOLSKI *et al.* (1995) beschrieben, dass die Eberschlachtkörper in ihrer Untersuchung um 6 % mehr Muskelfleischanteil aufwiesen als Kastraten. Gleichzeitig beschrieben sie, dass das Kotelett deutlich unterproportional an diesem höherem Muskelfleischanteil beteiligt ist und es Folge dessen zu einer Verzerrung des tatsächlichen Muskelfleischanteils kommt, wenn Eber an der gleichen Stelle (Kotelett vorletzte Rippe) gemessen und mit der gleichen Formel berechnet werden wie Kastraten.

### 5.3 Diskussion DXA-Ergebnisse

Im Geschlechtervergleich zeigen die Eber sowohl am Schlachthof (Eber: 77,8 kg; Kastraten: 80,1 kg; Immunokastraten: 78,9 kg) als auch beim mittels DXA ermittelten Hälftengewicht (Eber: 38,6 kg; Kastraten: 39,6 kg; Immunokastraten: 39,0 kg) die niedrigsten Schlachtkörpergewichte. Die Kastraten waren bei beiden Untersuchungen am schwersten. Das Schlachtkörpergewicht der Immunokastraten liegt zwischen den zwei Geschlechtern.

Nachdem das DXA-Schlachthälftengewicht mit der Zahl 2 multipliziert wurde, kann es mit dem Schlachtgewicht des Schlachthofes verglichen werden. Das DXA-Gesamtschlachtgewicht liegt unter dem Gewicht, das am Schlachthof per Waage ermittelt wurde. Ein Grund für den Gewichtsunterschied könnte eine ungenaue Schnittführung neben der Medianen sein. Ein weiterer Grund für den Gewichtsunterschied könnte der Fleischsaftverlust, der während des Transportes, der Lagerung und der Kühlung stattgefunden hat, sein. Frühere Untersuchungen von MITCHELL *et al.* (1998) ergaben ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,99$  in Bezug auf das Körpergewicht das mittels DXA ermittelt wurde und anschließend mittels chemischer Analyse verglichen wurde.

## Diskussion

Bei den Teilregionen sind mit Ausnahme der Region 5 keine signifikanten Gewichtsunterschiede zwischen den drei Geschlechtern festzustellen. Lediglich die Region 5 (Bauch) wiegt bei den Kastraten mehr als bei den Ebern und den Immunokastraten. In der Bauchregion besitzen Kastraten ein hohes Maß an Fettgewebe ( $21,5 \pm 0,78 \%$ ), verglichen mit Ebern ( $13,7 \pm 0,76 \%$  Fett) und Immunokastraten ( $17,1 \pm 0,75 \%$  Fett). Dieser signifikante Unterschied des Fettanteils in der Bauchregion in der vorliegenden Untersuchung unterstreicht die Ergebnisse des Bundesebermastversuches von DOBROWOLSKI *et al.* (1995), bei dem Kastraten in der Bauchregion durchschnittlich  $37,2 \%$  Fett und Eber durchschnittlich  $25,6 \%$  Fett aufwiesen. Bei den Untersuchungen von SCHOLZ *et al.* (2002) standen die mittels DXA und geweblicher Zerlegung ermittelten prozentualen Fettgehalte zwar in enger Beziehung ( $R^2 = 0,821$ ), jedoch war der mittels DXA ermittelte Fettgehalt um ca.  $8,7 \%$  niedriger als der grobgewebliche Fettgehalt der Zerlegung. Die niedrigeren Werte der DXA-Untersuchung erklärten SCHOLZ *et al.* dadurch, dass im grobgeweblich ermittelten Fettgehalt neben Fett bzw. Speck (hauptsächlich Lipide und Wasser) ein Teil der Schwarte (im Rückenbereich) enthalten ist. Das mittels DXA ermittelte Fett besteht jedoch allein aus Lipid bzw. Fettsäuren und Triglyzeriden. Dieses Phänomen sollte bei der Beurteilung der DXA-Fettwerte beachtet werden.

Sowohl im Gesamtkörper als auch in den einzelnen Regionen verfügen Kastraten absolut und relativ über die größte Fettauflage, während Eber die kleinste Fettauflage besitzen. Die Immunokastraten nehmen eine mittlere Stellung ein und liegen zwischen den zwei Geschlechtern. Diese aufsteigende Reihenfolge der Fettauflage, Eber < Immunokastrat < Kastrat ist in allen Regionen (Ausnahme Region 2) signifikant abgesichert. Lediglich in der Region 2 (Kopf) ist der Unterschied zwischen Eber und Immunokastraten nicht signifikant. Diese DXA-Fettergebnisse stimmen sowohl mit den Ergebnissen der Magnetresonanztomographie dieser Arbeit als auch mit den Ergebnissen der Autoren DOBROWOLSKI *et al.* (1995) und BAUER & JUDAS (2014) überein, welche besagen, dass Eber weniger Fettauflage als Kastraten aufweisen. Die DXA-Fettgewebeanteile dieser Arbeit zeigen, dass die Eber  $12,3 \pm 0,5 \%$ , die Immunokastraten  $14,8 \pm 0,5 \%$  und die Kastraten  $17,8 \pm 0,5 \%$  Fett am Gesamtkörper aufweisen. BAUER & JUDAS (2014) berichten in ihrer Arbeit von  $18,9 \pm 2,9 \%$  Fett bei Ebern und  $25,1 \pm 3,7 \%$  Fett bei Kastraten. Somit ist der Unterschied zwischen Eber und Kastraten bei beiden Untersuchungen annähernd gleich

groß, insgesamt jedoch kommen BAUER & JUDAS bei beiden Geschlechtern auf höhere Fettgewebsprozente. Gründe dafür könnten Unterschiede im Futter, in der Haltung, der Genetik oder in der Untersuchungsmethode sein.

Die Ergebnisse des DXA-Magerweichgewebeanteils zeigen erwartungsgemäß mit Ausnahme der Region 3 signifikante Unterschiede zwischen den drei Geschlechtern. Der Gesamtkörper der Eber hat einen DXA-Magerweichgewebeanteil von  $85 \pm 0,4 \%$ , während die Immunokastraten auf  $82,6 \pm 0,4 \%$  und die Kastraten auf  $79,5 \pm 0,4 \%$  kommen. Diese Ergebnisse bestätigen die Autoren HANSEN & LEWIS (1993), DOBROWOLSKI *et al.* (1995); ANDERSSON *et al.* (1997), BAUMGARTNER (2008), ADAM (2009), BAUER & JUDAS (2014) in der Aussage, dass Eber (prozentual) mehr Muskelfleischanteil als Kastraten besitzen. Ein Hauptgrund für den vermehrten Muskelansatz der Eber beschrieb CLAUS (1979) in der anabolen Stoffwechsellage der Eber, die durch die körpereigenen Hormone eingestellt wird.

Bei den Ergebnissen der Knochenmineralgehalte (BMC) zeigen Eber in der Schulterregion (Region 3) und in der Schinkenregion (Region 6) einen signifikant geringeren Gehalt als Immunokastraten. Bei der Knochenmineraldichte (BMD) zeigen Eber sowohl am Gesamtkörper als auch in der Schulter- und Schinkenregion eine signifikant geringere Dichte als Kastraten und Immunokastraten. Unterschiedliches Futter, vor allem ein unterschiedlicher Mineralstoffgehalt bewirken eine unterschiedliche Entwicklung der Knochenmineralien. BÖTTINGER beschrieb eine tendenziell höhere Knochenmineraldichte bei Schweinen, welche in Außenklimaställen gehalten wurden und somit mehr Bewegungsmöglichkeit hatten (BÖTTINGER, 2006). Die Haltung und die Fütterung entfallen für die vorliegende Studie als mögliche Ursache für den Unterschied in BMC und BMD, da die drei Geschlechter sowohl die gleiche Haltung als auch das gleiche Futter bekamen. LAUTERBACH (2012) beschrieb in ihrer Arbeit, dass weniger bemuskelte Tiere über eine höhere Knochenmineraldichte verfügen, diese Aussage trifft auch in dieser Arbeit zu. Die Eber haben in dieser Arbeit die niedrigsten Werte bezüglich Knochenmineraldichte und gleichzeitig die höchsten Magerweichgewebeanteile.

Dass die DXA-Untersuchung eine geeignete Methode zur Untersuchung der Knochenmineralisierung ist, bestätigten unter anderem SCHOLZ *et al.* (2004) indem sie DXA-

Ergebnisse ihrer Untersuchung den Mineralwerten der anschließenden Veraschung gegenüberstellten und ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,94$  ermittelten.

Die Immunokastraten nehmen in beinahe in jedem Merkmal eine mittlere Stellung zwischen Ebern und Kastraten ein. Diese Ergebnisse sind auf ihre Physiologie zurückzuführen. Die hormonelle Lage der Immunokastraten verhält sich bis zur 2. „Improvac“- Injektion wie die der Eber, nach der Injektion ähnelt ihre hormonelle Situation denen der Kastraten.

### **5.4 Diskussion Ergebnisse Magnetresonanztomographie im Vergleich zu Ergebnisse Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie**

Um eine Aussage treffen zu können, welche Körperregion bei den einzelnen Geschlechtern aussagekräftig für die Klassifizierung am Schlachthof ist, wurden in der vorliegenden Arbeit die einzelnen Ergebnisse der ausgewerteten MRT-Regionen mit den DXA-Gesamtkörperergebnissen mittels Regressionsgleichung verglichen. Für alle Geschlechter zeigt sich, dass mehrere MRT-Regionen herangezogen werden müssen, um die Körperzusammensetzung eines Schlachtkörpers mit einem Bestimmtheitsmaß von mindestens  $R^2=0,67$  vorhersagen zu können. Diese Aussage stellt die Einstufung der Schlachtkörper an den bayrischen Schlachthöfen mittels HGP4 (Hennessy Grading Probe) in Frage, da bei dieser Methode anhand einer einzigen Messstelle (Kotelett vorletzte Rippe) der gesamte Schlachtkörper eingestuft und bezahlt wird. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ist es notwendig die Messstellen am Schlachtkörper dem Geschlecht anzupassen. Die Regionen Bug Fett 5 Scheiben und Schinken Fett 5 Scheiben scheinen bei allen drei Geschlechtern eine geeignete Stelle zu sein, um auf die Schlachtkörperzusammensetzung schließen zu können. Zusätzlich gibt es geschlechtsspezifische Regionen, die für das jeweilige Geschlecht eine Bedeutung haben. Bei den Ebern ist es die Region Lende Fett 1 Scheibe, bei den Kastraten Kotelett Muskel 3 Scheiben und bei den Immunokastrierten Tieren Bug Muskel 5 Scheiben und Kotelett Fett 1 Scheibe. Laut den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann die DXA-Gesamtkörperzusammensetzung nicht genau genug ( $p>0,05$ ) mit der MRT-Region Kotelett 1 Scheibe (Kotelett vorletzte Rippe) bei den Ebern und Kastraten geschätzt werden.

## 6 Schlussfolgerung und Ausblick

Ziel der Arbeit war es die Unterschiede der Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern, Kastraten und Immunokastraten zu evaluieren. Die Ergebnisse der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie Untersuchung zeigen, dass Eber signifikant mehr Magerweichgewebe und weniger Fett als Kastraten und Immunokastraten ansetzten. Die Ergebnisse der Magnetresonananzuntersuchung zeigen bei den einzelnen Teilregionen, dass Eber in den Regionen Schulter, Schinken und Filet tendenziell mehr Muskelvolumen gegenüber den Kastraten besitzen. Allein in der Lendenregion besitzen die Kastraten etwas mehr Muskulatur als die Eber. Was den Fettansatz betrifft, haben Kastraten in jeder Region die größte Fettauflage und Eber die geringste. Die Körperzusammensetzung betreffend sind Eber den anderen Geschlechtern überlegen, wenn der Wunsch des Konsumenten nach magerem Fleisch berücksichtigt wird.

Neue Untersuchungen von BÜNGER *et al.* (2014) zeigen, dass Eber häufiger aufreiten, beißen, stoßen und kämpfen als kastrierte Tiere, dennoch zeigen die Untersuchungen von BÜNGER *et al.* (2014), dass eine Ebermast in konventioneller und alternativer Haltung ohne tierschutzrelevante Probleme möglich ist, wenn ständiger Futterzugang gewährleistet ist.

Das Problem des Ebergeruchs kann laut LAUTERBACH (2012) durch Anpassung von Haltung und Fütterung reduziert werden. Des Weiteren kann durch die Art der Fleischzubereitung bzw. durch die Verwertung der mageren Teilstücke das Problem des Ebergeruchs teilweise umgangen werden.

Nach dem Jahr 2018 soll die betäubungslose Ferkelkastration in der EU verboten sein. Die Ebermast wird als geeignete Alternative diskutiert. Falls die Ebermast flächendeckend durchgeführt wird, sollte vorausgesetzt sein, dass die Eberschlachtkörper bei der Klassifizierung am Schlachthof anhand repräsentativer Stellen eingestuft und gerecht bezahlt werden, aber auch Tiere mit Geruchsabweichungen exakt erkannt werden können.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass eine Messung an einer einzigen Stelle nicht ausreicht, um die Körperzusammensetzung des Schlachtkörpers mit ausreichender Genauigkeit voraussagen zu können. Es sollten einerseits mehrere Regionen wie zum Beispiel

## Schlussfolgerung und Ausblick

bei der AUTOFOM Messung und andererseits geschlechtsspezifische Regionen herangezogen werden für die Einstufung in das Handelsklassenschema/Preismasken, wonach die Landwirte bezahlt werden.

In weiteren Untersuchungen könnten geschlechtsspezifische Regionen für Sauen abgeklärt werden, um die Preismasken entsprechend anpassen zu können.

## 7 Zusammenfassung

Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt die chirurgische Kastration männlicher Ferkel (ohne Betäubung) bis zum 1. Januar 2018 aus Tierschutzgründen abzuschaffen. Bis zu diesem Zeitpunkt muss eine einheitliche Alternative für die Mast männlicher Schweine gefunden werden. Die Ebermast stellt eine mögliche Alternative dar, weshalb im vorliegenden Versuch die Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern, Kastraten und Immunokastraten verglichen wurde. Die Erkenntnisse des Versuches sollen einerseits den unterschiedlichen Muskel- und Fettansatz der drei Geschlechter darstellen und andererseits dazu beizutragen geschlechtsspezifische Regionen am Schlachtkörper zu evaluieren, mit denen der Muskelfleischanteil am Schlachthof geschätzt werden kann.

Insgesamt wurden 101 Schweineschlachtkörper (PixDL) mit einem durchschnittlichen Alter von  $164,6 \pm 0,6$  Tagen und einem durchschnittlichen Schlachtkörpergewicht von  $79,5 \pm 8,6$  kg mittels Magnetresonanztomographie (MRT; Siemens Magnetom Open, Feldstärke 0,2 Tesla) und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA; GE Lunar iDXA) untersucht.

Die Versuchstiere wurden in drei Gruppen unterteilt, wobei jede Gruppe aus einem Drittel intakte Eber, einem Drittel kastrierte Eber und einem Drittel immunokastrierte Eber bestand. Die MRT-Bilder wurden mit der Software Able 3D Doctor (Lexington, MA, USA) manuell und halbautomatisch ausgewertet und anschließend das Muskel- bzw. Fettvolumen ( $\text{mm}^3$ ) für die Regionen Kotelett, Schulter, Schinken, Filet, und Lende berechnet. Durch die Untersuchung der Schlachtkörper mittels DXA (Scanmodus: Standard; Ganzkörper) werden der absolute und relative Magerweichgewebe- und Fettgewebsanteil sowie der Knochenmineralgehalt (BMC), die Knochenmineraldichte (BMD) sowie das Gewicht ermittelt. Des Weiteren wurde der Schlachtkörper mittels sogenannter „Regions of Interest“ (ROI) in sechs Teilregionen unterteilt. Diese Teilregionen wurden am Bildschirm virtuell eingezeichnet. Die erste Region umfasst den gesamten Schlachtkörper, die weiteren Regionen sind Kopf, Schulter, Rücken, Bauch und Schinken.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels der Software SAS 9.3. Als erstes wurde ein Mischmodell unter Verwendung der REML-Methodik (restricted maximum likelihood) mit dem fixen Effekt Geschlecht, der Kovariable Gewicht und dem zufälligen Effekt

## Zusammenfassung

Untersuchungsdatum analysiert, um die MRT- und DXA-Messergebnisse zwischen den Geschlechtern vergleichen zu können. Die zweite statistische Auswertung der Beziehungen zwischen den Ergebnissen der MRT-Regionen und den DXA-Gesamtkörperergebnissen (Fett und Magerweichgewebe) erfolgte mittels der multiplen, "stepwise" Regressionsanalyse (Proc Reg, SAS 9.3). Die Signifikanzgrenze wurde bei beiden Ansätzen mit  $p \leq 0,05$  festgelegt.

Die Ergebnisse der MRT-Untersuchung zeigen, dass Eber in allen untersuchten Bereichen (Kotelett, Schulter, Schinken, Lende) signifikant die geringste Fettauflage und Kastraten signifikant die größte Fettauflage besitzen. Die Immunokastraten nehmen eine mittlere Position ein. Im Vergleich des Muskelansatzes zeigen sich keine signifikanten Unterschiede (Ausnahme Schulterregion). Tendenziell haben Eber in den Bereichen Schinken, Schulter und Filet bei allen Schnittbildern mehr Muskelvolumen. In der Region Schulter zeigen Eber bei einem Schnittbild signifikant mehr Muskelvolumen als die Kastraten. Im Bereich der Lende besitzen Eber tendenziell den geringsten und Kastraten den höchsten Muskelansatz.

Die relativen DXA-Fettgewebswerte zeigen, dass Kastraten sowohl am Gesamtkörper als auch bei den einzelnen Regionen am meisten und Eber am wenigsten Fettgewebe aufweisen. Der gesamte Schlachtkörper besteht bei Ebern aus  $12,3 \pm 0,5\%$ , bei Immunokastraten aus  $14,8 \pm 0,5\%$  und bei Kastraten aus  $17,8 \pm 0,5\%$  DXA-Fett. Diese aufsteigende Reihenfolge des Fettanteils (Eber < Immunokastrat < Kastrat) ist in allen Regionen (Ausnahme Kopfregion) signifikant abgesichert. Die DXA-Magerweichgewebeergebnisse sind erwartungsgemäß gegenläufig zu den Fettergebnissen, so zeigen Kastraten am Gesamtkörper mit  $79,6 \pm 0,5\%$  das geringste Magerweichgewebe, im Gegensatz zu Immunokastraten mit  $82,7 \pm 0,4\%$  und Ebern mit  $85,1 \pm 0,4\%$ . Für das Merkmal Knochenmineralgehalt (BMC) zeigen Eber in der Schulterregion (Region 3) und in der Schinkenregion (Region 6) einen signifikant geringeren Gehalt als Immunokastraten. Bei der Knochenmineraldichte (BMD) zeigen Eber sowohl in Region 1 (Gesamtkörper) als auch in Region 3 (Schulter) und Region 6 (Schinken) eine signifikant geringere Dichte als Kastraten und Immunokastraten.

Die Beziehungen zwischen DXA-Gesamtkörperergebnissen (Fettgewebe und Magerweichgewebe) und MRT-Daten wurden mittels Regressionsanalyse ausgewertet. Es zeigte sich, dass ein Muskel- bzw. Fettwert (Volumen) einer einzigen MRT-Region nicht ausreicht, um die DXA-Gesamtkörperergebnisse sicher voraussagen zu können. Nachdem die Werte von mehreren MRT-Regionen gemeinsam zur Schätzung der prozentualen



## Zusammenfassung

Gesamt-magerweich- bzw. Fettgewebeanteile herangezogen wurden, konnten Bestimmtheitsmaße von mindestens  $R^2=0,67$  erreicht werden. Des Weiteren zeigte die Regressionsanalyse geschlechtsspezifische Regionen auf, anhand deren die Körperzusammensetzung der verschiedenen Geschlechter am genauesten geschätzt werden kann. Eine Messung der Fettgewebeanteile in Schulter- und Schinkenregion scheint bei allen drei Geschlechtern sinnvoll zu sein. Bei Ebern sollte zusätzlich eine Fettmessung im Bereich der Lende durchgeführt werden. Bei Kastraten sollte zusätzlich die Muskulatur in der Kotelettregion berücksichtigt werden und bei Immunokastrierten Tieren die Muskulatur in der Schulterregion sowie die Fettauflage in der Kotelettregion.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Ebermast allein aus Sicht der Körperzusammensetzung und der Konsumentenwünsche für mageres Fleisch eine geeignete Alternative zur betäubungslosen Ferkelkastration ist, da Eber mehr Magerweichgewebe und weniger Fettgewebe ansetzen als Kastraten. Bei der Bewertung der Schlachtkörper am Schlachthof sollte aber an eine geschlechtsspezifische Klassifizierung gedacht werden. Des Weiteren sollten die Schlachtkörper anhand mehrerer Messpunkte eingestuft werden, wie es beispielsweise bei der AUTOFOM Messung in einigen Schlachthöfen außerhalb Bayerns bereits geschieht.

## 8 Summary

Carcass composition analysis in pigs comparing boars, barrows and immunological castrated pigs by using MRI and DXA.

Vergleich der Schlachtkörperzusammensetzung zwischen Ebern, Kastraten und Immunokastraten mittels Magnetresonanztomographie und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie

Surgical castration of male piglets without sedation will be banned after the 1<sup>st</sup> January 2018 by the European Union. Until this date, alternatives for raising male piglets are needed. One possibility is to raise entire male pigs. The aim of this study was to compare the carcass composition (muscle and fat tissue) of boars, barrows and immunological castrated pigs. The results should, on one hand, show the difference of muscle and fat deposition among the three genders and on the other hand find gender specific carcass regions for the lean meat estimation in the slaughterhouse.

Therefore 101 pig carcasses (Plüsch) were scanned at an age of  $164,6 \pm 0,6$  days and a carcass weight of  $79,5 \pm 8,6$  kg by magnetic resonance imaging (MRI; Siemens Magnetom Open, 0,2 Tesla) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA; GE Lunar iDXA).

The pigs were divided in three groups, each group included one third of boars, one third of barrows and one third of immunological castrated pigs. After MRI scanning, ham, shoulder, chop and loin region were evaluated for their muscle and fat tissue volume ( $\text{mm}^3$ ) by using the Able 3D Doctor Software (Lexington, MA, USA). In addition, each carcass was analyzed with a GE Lunar iDXA scanner using the software mode "whole body-standard". The lean and fat tissue (each in g) of the total body, the bone mineral density (BMD,  $\text{g}/\text{cm}^2$ ) and content (BMC, g) and the weight of the carcass were analyzed by DXA. Furthermore the carcass was divided in 6 regions of interest (ROIs). The 6 ROIs were whole body, head, shoulder, back, belly and ham.

For the statistic analysis the software SAS 9.3 was used. Firstly, a mixed model analysis by using the REML (restricted maximum likelihood) method was performed with the fixed effect

## Summary

gender, carcass weight as covariate, and scan date as random effect to compare the MRI and DXA results among the three genders. Secondly, a multiple, stepwise regression analysis was performed to compare the MRI results with DXA fat and lean content (%) of the whole body as reference traits (Proc Reg). In both trials the significance level was set to  $p \leq 0,05$ .

The results of the MRI evaluation show that boars have significantly the lowest fat volume in all evaluated MRI regions (shoulder, ham, chop, loin). Barrows show the significantly highest fat volume. The immunological castrated pigs are between the above presented genders. The difference in muscle tissue volume is not significant (except shoulder). Boars, however, tend to have more muscle volume in the ham, shoulder and fillet region than have the two other genders. For the variable "one shoulder slice", boars show significant more muscle tissue than barrows. In the loin region, barrows tend to have more muscle volume than boars.

The results of the DXA evaluation show that boars ( $12,3 \pm 0,5\%$ ) have significantly the lowest fat content, barrows ( $17,8 \pm 0,5\%$ ) the largest one, and immunological castrated pigs ( $14,8 \pm 0,5\%$ ) are in between. The fat content order (boars < immunological castrated pigs < barrows) is also significant in other regions (except head region). DXA lean tissue content results show that boars ( $85,1 \pm 0,4\%$ ) have the highest lean tissue content, followed by immunological castrated pigs ( $82,7 \pm 0,4\%$ ) and barrows ( $79,6 \pm 0,5\%$ ). Boars have significantly less bone mineral content (BMC) in the shoulder (region 3) and the ham (region 6) than have immunological castrated pigs. The results of the bone mineral density (BMD) show that boars have significantly less BMD than barrows and immunological castrated pigs in region 1 (whole body), region 3 (shoulder) and region 6 (ham).

The MRI results were compared with DXA fat and lean content of the whole body using a multiple, stepwise regression analysis. It is not enough to use just MRI results of one region in order to predict DXA fat and lean content (%) of the whole body accurately (with  $p < 0,05$ ). After using MRI results of a number of body regions, DXA fat and lean content (%) could be predicted with an accuracy of  $R^2 \geq 0,67$ . Gender specific body regions must be considered, however, in order to be able to predict the carcass composition of different genders with a high accuracy. The fat volumes measured in the ham and shoulder region seem to be reasonable predictors for DXA fat and lean content (%) for all genders. The present results plead for additional measuring in fat volume in loin region (boars), muscle volume chop

## Summary

region (barrows), muscle volume shoulder region and fat volume chop region (immunological castrated pigs).

Raising entire male pigs might become an alternative instead of surgical castration, if alone carcass composition and consumer preferences for lean meat are being accounted for. In conclusion, boars have the highest lean meat percentage and the lowest fat percentage in comparison with barrows and immunological castrated pigs. These findings support gender specific classification regions. Furthermore, carcass composition estimation at the slaughterhouse would result in a more exact classification if fat and muscle volumes or distances would be measured at more than one region of the carcass, like e.g. AUTOFOM does.

## 9 Literaturverzeichnis

- Absichtserklärung.** (2010): Europäische Erklärung über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen [http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/docs/castration\\_pigs\\_declaration\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/docs/castration_pigs_declaration_de.pdf) 11.06.2014.
- Adam F.** (2009): Ebermast oder Schmerzlinderung. In: Herausforderungen für Schweinehalter. LfL Jahrestagung 2009. [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_37263.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_37263.pdf) 11.06.2014.
- Adam F., Schulze Langenhorst C., Bütfering L.** (2009): Düsser Ergebnisse zur Ebermast. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 2009. [http://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/wir/jahresbericht/2009/09\\_gesamt.pdf](http://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/wir/jahresbericht/2009/09_gesamt.pdf) 02.06.2014.
- Andersson K., Schaub A., Andersson K., Lundström K., Thomke S., Hansson I.** (1997): The effects of feeding system, lysine level and gilt contact on performance, skatole levels and economy of entire male pigs. In: Livestock Production Science; 51: 131-40.
- Babol J. & Squires E.J.** (1995): Quality of meat from entire male pigs. In: Food Research International; 28: 201-12.
- Bauer A. & Judas M.** (2014): Schlachtkörperqualität von Mastebornen in Vergleich zu Sauen und Börgen. In: Züchtungskunde 5/6. 86: 374-89.
- Baulain U., Henning M., Kallweit E.** (1996): Bestimmung der Körperzusammensetzung von Landrasse-Schweinen unterschiedlichen Alters mittels MRI. In: Arch. Tierzucht, Dummerstorf; 39: 431-40.
- Baulain U. & Henning M.** (2001): Untersuchungen zur Schlachtkörper- und Fleischqualität mit Hilfe von MR-Tomographie und MR-Spektroskopie. In: Arch. Tierz., Dummerstorf; 44: 181-92.
- Baulain U., Wiese M., Tholen E., Höreth R., Hoppenbrock K.H.** (2003): Magnet-Resonanz-Tomographie als Referenztechnik zur Bestimmung der Körperzusammensetzung in der Leistungsprüfung beim Schwein. In: Mitteilungsblatt BAFF 42; 101: 251 - 7.

- Baulain U., Friedrichs M., Höreth R., Henning M., Tholen E.** (2010): Use of MRI to assess Carcass and Primal Cut Composition in different Pig Breeds. 9th World Congress on Genetic applied to Livestock Production Leipzig, Germany. <http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/pdf/0357.pdf> 08.01.2015.
- Baumgartner J.** (2008): Die Kastration männlicher Ferkel - Methoden und Bewertung. Nutztierschutztagung 29. Mai 2008. <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/index.php/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/312-nutztierschutztagung-2008/2689-die-kastration-maennlicher-ferkel-methoden-und-bewertung.html> 08.01.2015.
- Bernau M.** (2011): Untersuchungen zu einer möglichen Vorverlegung der Schlachtleistungsprüfung beim Schwein mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) in vivo. Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München. [http://edoc.ub.uni-muenchen.de/13555/1/Bernau\\_Maren.pdf](http://edoc.ub.uni-muenchen.de/13555/1/Bernau_Maren.pdf) 08.01.2015.
- Bernau M., Kremer P.V., Scholz A.M.** (2013): Vergleich der Körperzusammensetzung von Schweinen bei 80 kg und 100 kg Lebendmasse mittels Magnetresonanztomographie. In: Züchtungskunde; 85: 430-9.
- Binder H.A.** (2003): Möglichkeiten der Frühdiagnostik der Osteomyelitis durch Magnetresonanztomographie-Experimentelle Untersuchungen am Kaninchen. Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München. [http://edoc.ub.uni-muenchen.de/1536/1/Binder\\_Hans\\_Artur.pdf](http://edoc.ub.uni-muenchen.de/1536/1/Binder_Hans_Artur.pdf) 10.02.2015.
- Bonneau M.** (1998): Use of entire males for pig meat in the European Union. In: Meat Science; 49, Supplement 1: S257-S72.
- Böttinger M.** (2006): Untersuchung des Einflusses verschiedener Produktionssysteme auf das Wachstum beim Schwein unter Verwendung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Messung von Fett, Magerweichteilgewebe und Knochenmineralansatz. Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München. [http://edoc.ub.uni-muenchen.de/5281/1/Boettinger\\_Martina.pdf](http://edoc.ub.uni-muenchen.de/5281/1/Boettinger_Martina.pdf) 08.01.2015.
- Brøndum J., Egebo M., Agerskov C., Busk H.** (1998): On-line pork carcass grading with the AutoFOM ultrasound system. In: Journal of Animal Science; 78: 1859-68.
- Bundesamt Statistisches D.** (2013). <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/TiereundTierischeErzeugung/Tabellen/BetriebeSchweineBestand.html> 21.05.2014.

- Bünger B., Zacharias B., Schrade H.** (2014): Verhaltensunterschiede bei der Mast von Ebern im Vergleich zu Kastraten und weiblichen Tieren sowie gemischtgeschlechtlichen Gruppen bei unterschiedlichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen. In: Züchtungskunde 5/6. 86: 358-73.
- Chemnitz C. & Benning R.** (2014): Fleischatlas - Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel. Heinrich-Böll-Stiftung, Schumannstr. 8, 10117 Berlin.
- Claus R.** (1979): Pheromone bei Säugetieren unter besonderer Berücksichtigung des Ebergeruchstoffes und seiner Beziehung zu anderen Hodensteroiden; Habilitationsschrift TU München, Verlag Paul Parey.
- Claus R.** (1993): Die unendliche Geschichte der Ebermast. In: Fleischwirtschaft; 73: 449 - 53.
- Davenel A., Seigneurin F., Collewet G., Remignon H.** (2000): Estimation of poultry breastmeat yield: magnetic resonance imaging as a tool to improve the position of ultrasonic scanners. In: Meat Science; 56: 153-8.
- Dobrowolski A., Höreth R., Branscheid W.** (1995): Der Schlachtkörperwert von Ebern und Börgen und Probleme der Klassifizierung. In: Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch; Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449; ISBN: 3-7843-0449-4. Landwirtschaftsverlag GmbH; Münster.
- DocCheckFlexicon.** (2015). <http://flexikon.doccheck.com/de/Echozeit> 10.02.2015.
- FAO.** (2012): Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QL/E> 21.05.2014.
- Font i Furnols M., Gispert M., Diestre A., Oliver M.A.** (2003): Acceptability of boar meat by consumers depending on their age, gender, culinary habits, and sensitivity and appreciation of androstenone odour. In: Meat Science; 64: 433-40.
- Fredriksen B., Font I.F.M., Lundstrom K., Migdal W., Prunier A., Tuytens F.A., Bonneau M.** (2009): Practice on castration of piglets in Europe. In: Animal; 3: 1480-7.
- Fredriksen B., Johnsen A.M.S., Skuterud E.** (2011): Consumer attitudes towards castration of piglets and alternatives to surgical castration. In: Research in Veterinary Science; 90: 352-7.

- GE H.** (2010): Lunar- enCore-basiertes Knochen-Densiometer-Röntgensystem-Benutzerhandbuch. 5. Aufl. Handbuch, Teilenummer LU43616DE; GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA.
- Genton L., Hans D., Kyle U.G., Pichard C.** (2002): Dual-Energy X-ray absorptiometry and body composition: differences between devices and comparison with reference methods. In: Nutrition; 18: 66-70.
- Gower D.B.** (1972): 16-Unsaturated C19 steroids a review of their chemistry, biochemistry and possible physiological role. In: Journal of Steroid Biochemistry; 3: 45-103.
- Granz S.** (2011): Aufbau und Arbeitsweise tierischer Organe. In: Tierproduktion. Weiß J., Pabst W., Granz S.; Enke Verlag Stuttgart; ISBN: 978-3-8304-1122-2.
- Hansen B.C. & Lewis A.J.** (1993): Effects of dietary protein concentration on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows and gilts: mathematical description. In: Journal of Animal Science; 71: 2122-32
- Health A.** (2008): Gemeinsame Erklärung zur Ferkelkastration <http://animal-health-online.de/kastrat/doc/duesseldorf.pdf> 16.07.2014.
- Hendrix A.** (2003): Magnete, Spins und Resonanzen. [http://www.scmr.org/assets/files/members/documents/magnets\\_spins\\_resonances.pdf](http://www.scmr.org/assets/files/members/documents/magnets_spins_resonances.pdf) 09.01.2015.
- Hofer M.** (2010): CT-Kursbuch: Ein Arbeitsbuch für den Einstieg in die Computertomographie. Didamed Verlag; Auflage: 7; ISBN 3938103221; Düsseldorf.
- Hoppenbrock K.H.** (1995): Mastleistung von Ebern. In: Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch; Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 449; ISBN: 3-7843-0449-4. Münster.
- Horst P. & Gregor G.** (1997): Schwein. In: Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre für Tiermediziner. Kräußlich H., Brem B.; Ferdinand Enke Verlag; Stuttgart; ISBN 3-432-26621-9.
- <http://phys.org/news/2013-10-world-powerful-mri-online.html>.** (2013). (<http://phys.org/news/2013-10-world-powerful-mri-online.html> 09.01.2015.



- Jackson S.A. & Thomas R.M.** (2009): CT, MRT, Ultraschall auf einen Blick; Einführung in die physikalischen Grundlagen der Computertomographie; Urban und Fischer Verlag der Elsevier GmbH, 1. Auflage, München.
- Joshi H.S. & Raeside J.I.** (1973): Synergistic effects of testosterone and oestrogens on accessory sex glands and sexual behaviour of the boar. Department of Biomedical Sciences, Ontario Veterinary College, University of Guelph, Guelph, Ontario; Canada. 411 - 23.
- Judge M.D., Mills E.W., Orcutt M.W., Forrest J.C., Diekman M.A., Harmon B.G., Lin R.S., Nicholls L.L.** (1990): Utilization of boar meat: consumption, quality and odor incidence in relation to androstenone and skatole. In: Journal of Animal Science; 68: 1030-3.
- Korn S., Baulain U., Arnold M., Brade W.** (1995): Nutzung der Magnet-Resonanz-Tomographie zur Bestimmung des Schlachtkörperwertes beim Schaf. In: Züchtungskunde; 77: 382-93.
- Köver G., Szendro Z., Romvari R., Jensen J.F., Sorensen P., Milisitis G.** (1998): In vivo Measurement of body Parts and fat Deposition in Rabbits by MRI. In: World Rabbit Science; 6: 231-5.
- Kräußlich H.** (1997): Zuchtwertschätzung. In: Tierzucht und Allgemeine Landwirtschaftslehre für Tiermediziner. Kräußlich H., Brem G.; Ferdinand Enke Verlag; Stuttgart; ISBN 3-432-26621-9.
- Kremer P.V., Fernández-Figares I., Förster M., Scholz A.M.** (2012): In vivo body composition in autochthonous and conventional pig breeding groups by dual-energy X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging under special consideration of Cerdo Ibérico. In: Animal; 6:12: 2041-7.
- Kremer P.V., Förster M., Scholz A.M.** (2013): Use of magnetic resonance imaging to predict the body composition of pigs in vivo. In: Animal; 7:6: 879-84.
- Kremer P.V.** (2013): In vivo Phänotypisierung von Schlachtkörpermerkmalen bei Schwein und Schaf mittels Magnetresonanztomographie. Habilitationsschrift LMU München, Tierärztliche Fakultät.
- Laskey M.A.** (1996): Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. In: Nutrition; 12: 45-51.

- Lauterbach E.** (2012): Schlachtkörperzusammensetzung und –qualität von Mastebbern. Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München. [http://edoc.ub.uni-muenchen.de/14931/1/Lauterbach\\_Elisabeth.pdf](http://edoc.ub.uni-muenchen.de/14931/1/Lauterbach_Elisabeth.pdf) 09.01.2015.
- Littmann E., Götz K.U., Doddenhoff J.** (2006): Schriftenreihe: Schweinezucht und Schweineproduktion. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft Poing. [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_19786.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_19786.pdf) 09.01.2015.
- Lösel D.** (2007): Versuche zur Verbesserung der sensorischen Fleischqualität beim Schwein durch nutritive Hemmung der Skatolbildung. Dissertation der Universität Hohenheim. [https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2007/171/pdf/Dr\\_Loesel.pdf](https://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2007/171/pdf/Dr_Loesel.pdf) 09.01.2015.
- Mitchell A.D., Wang P.C., Rosebrough R.W., Elsasser T.H., Schmidt W.F.** (1991): Assesment of Body Composition of Poultry by Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy. In: Poultry Science; 70: 2494-500.
- Mitchell A.D., Scholz A.M., Conway J.M.** (1998): Body Composition Analysis of Small Pigs by Dual-Energy X-ray Absorptiometry. In: Journal of Animal Science; 76: 2392-8.
- Mitchell A.D., Scholz A.M., Pursel V.G.** (2000): Dual-Energy X-ray Absorptiometry Measurements of the Body Composition of Pigs of 90- to 130- Kilograms Body Weight. In: Annals of the New York Academy of Sciences; 904: 85-93
- Mitchell A.D., Scholz A.M., Wange P.C., Song H.** (2001a): Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. In: Journal of Animal Science; 79: 1800-13.
- Mitchell A.D. & Scholz A.M.** (2001): Techniques for Measuring Body Composition of Swine; . In: Swine Nutrition. Lewis, A. J. Southern, L. L.; ISBN: 0-8493-0696-5 .
- Mitchell A.D., Scholz A.M., Pursel V.G.** (2001b): Total body and regional measurements of bone mineral content and bone mineral density in pigs by dual energy X-ray absorptiometry. In: Journal of Animal Science; 79: 2594-604.
- Mitchell A.D., Scholz A.M., Solomon M.B.** (2005): Estimation of body composition of pigs by a near-infrared interactance probe technique. In: Arch. Tierz., Dummerstorf; 48: 580-91.
- Mitchell A.D. & Scholz A.M.** (2009): Relationships among dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), bioelectrical impedance (BIA), and ultrasound measurements of body composition of swine. In: Arch. Tierz., Dummerstorf; 52 (1): 28-39.

- Monziols M., Collewet G., Mariette F., Kouba M., Davenel A.** (2005): Muscle and fat quantification in MRI gradient echo images using a partial volume detection method. Application to the characterization of pig belly tissue. In: Magn Reson Imaging; 23: 745-55.
- MSF R.S.** (2007): Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein. [www.zds-bonn.de/.../pdf/rlnkp04geaendert0704.pdf](http://www.zds-bonn.de/.../pdf/rlnkp04geaendert0704.pdf) 06.06.2014.
- Pietrobelli A., Formica C., Wang Z., Heymsfield B.** (1996): Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. In: Am J Physiol. 271(6 Pt 1): 941-51.
- RL Eig FI F.** (2005a): Richtlinie für die Durchführung der Eber-Eigenleistungsprüfung auf Felischleistung im Feld (Feldprüfung). [www.zds-bonn.de/services/files/gesetzevo/rl\\_elp\\_feld05.pdf](http://www.zds-bonn.de/services/files/gesetzevo/rl_elp_feld05.pdf) 06.06.2014.
- RL Eig FI S.** (2005b): Richtlinie für die Durchführung der Ebereigenleistungsprüfung auf Fleischleistung in Prüfstationen (Stationsprüfung). [www.zds-bonn.de/services/files/gesetzevo/rl\\_elp\\_st05.pdf](http://www.zds-bonn.de/services/files/gesetzevo/rl_elp_st05.pdf) 06.06.2014.
- Schild H.H.** (1997): MRI made easy. Schering Aktiengesellschaft; Berlin. ISBN: 3-921817-41-2.
- Scholz A.M., Baulain U., Kallweit E.** (1992 ): In vivo estimation of porcine body composition by Magnetic-Resonance-Imaging. In: 43rd Annual Meeting of the European Association for Animal Production; Madrid.
- Scholz A.M., Soffner P., Littmann E., Peschke W., Förster M.** (2002): Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30-39kg) anhand der EU-Referenzerlegung. In: Züchtungskunde; 74: 376-91.
- Scholz A.M., Heller P., Waldmann K.-H., Wolf P., Kamphues J., Förster M.** (2004): Eignung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Erfassung der Knochenmineralisierung von Ebern. In: Züchtungskunde; 76: 94-107.
- Scholz A.M. & Baulain U.** (2009): Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Nutztier. In: Züchtungskunde; 81: 86–96.
- Schrade H.-J., Wild A., Zacharias B., Bünger B.** (2014): Mast- und Schlachtleistung von Ebern in konventioneller und Außenklimahaltung. In: Ebermast- Stand und Perspektiven.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL); Darmstadt.  
ISBN 978-3-941583-91-7.

**SchwHKIV.** (2014): Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper - Handelsklassenverordnung). [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/hdlklschwv\\_1986/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/hdlklschwv_1986/gesamt.pdf) 15.12.2014.

**SchwZLpV.** (1994): Verordnung über die Leistungsprüfung und die Zuchtwertschätzung bei Schweinen. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/schwzlpv/gesamt.pdf> 06.06.2014.

**Scollan N.D., Caston L.J., Liu Z., Zubair A.K., Leeson S., McBride B.W.** (1998): Nuclear magnetic resonance imaging as a tool to estimate the mass of the Pectoralis muscle of chickens in vivo. In: Br Poultry Sci; 39: 221-4.

**Siemens A.L., Lipsey R.J., Martin W.M., Siemens M.G., Hedrick H.B.** (1991): Composition of pork carcasses by potassium-40 liquid scintillation detection: estimation and validation. In: Journal of Animal Science; 69: 47-53.

**Speakman J.R., Visser G.H., Ward S., Krol E.** (2001): The isotope dilution method for the evaluation of body composition. In: Body Composition Analysis of Animals. Speakman, J. R.; Cambridge University Press; ISBN: 978-0-521-66338-0.

**Starck J.M., Dietz M.W., Piersma T.** (2001): The assesment of body composition and other parameters by ultrasound scanning. In: Body Composition Analyses of Animals. Speakman J. R.; Cambridge University Press; ISBN: 978-0-521-66338-0.

**Streitz E., Baulain U., Kallweit E.** (1995): Untersuchungen zur Körperzusammensetzung wachsender Lämmer mit Hilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT). In: Züchtungskunde; 67: 392-403.

**Suster D., Leury B.J., Ostrowska E., Butler K.L., Kerton D.J., Wark J.D., Dunshea F.R.** (2003): Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments. In: Livestock Production Science; 84: 231-42.

**Tholen E., Baulain U., Henning M., Schellander K.** (2003): Comparison of different methods to asses the composition of pig bellies in progeny testing. In: Journal of Animal Science; 81: 1177-84.

- Tierschutzgesetz.** (2006): Tierschutzgesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html> 11.06.2014.
- TierZG.** (2011): Tierzuchtgesetz. <https://www.juris.de/jportal/portal/page/homerl.psm?cmsuri=%2Fjuris%2Fde%2Fkostenfreieinhalte%2Finfokostenfreieinhalte.jsp&fcstate=5&showdoccase=1&doc.part=X&doc.id=BJNR329410006#BJNR329410006BJNE000102377> 07.01.2015.
- Van Marken Lichtenbelt W.D.** (2001): The use of bioelectrical impedance analysis (BIA) for estimation of body composition. In: Body Composition Analysis of Animals. Speakman, J. R.; Cambridge University Press; ISBN: 978-0-521-66338-0.
- Vanheukelom V., Van Beirendonck S., Van Thielen J., Driessen B.** (2012): Behavior, production results and meat quality of intact boars and gilts housed in unmixed groups: A comparative study. In: Applied Animal Behaviour Science; 142: 154-9.
- von Lengerken G. & Wicke M.** (2006): Schweinezüchtung. In: Tierzucht. v. Lengerken, G. Ellendorf, F. v. Lengerken, J.; Eugen Ulmer Verlag Stuttgart; ISBN: 978-3-8001-4780-9.
- Weiler U., Font i Furnols M., Fischer K., Kemmer H., Oliver M.A., Gispert M., Dobrowolski A., Claus R.** (2000): Influence of differences in sensitivity of Spanish and German consumers to perceive androstenone on the acceptance of boar meat differing in skatole and androstenone concentrations. In: Meat Science; 54: 297-304.
- Weiler U. & Wesoly R.** (2012): Physiologische Aspekte der Androstenon- und Skatolbildung beim Eber. In: Züchtungskunde; 84: 365-93.
- Weishaupt, Koechli, Marincek.** (2009): Wie funktioniert MRI. Springer Verlag; Berlin; ISBN: 978-3-540-89572-5.
- Wiederhold S., Baulain U., Kallweit E., Pingel H.** (1995): Comparison of breast muscle growth in live Muscovies and Mulards by means of Magnetic-Resonance-Imaging (MRI). In: Proc. XII European Symposium on the quality of poultry meat.

## 10 Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Armin Scholz, der mir die Doktorarbeit ermöglicht und mich hervorragend betreut hat.

Einen ganz herzlichen Dank möchte ich an Frau Dr. Maren Bernau richten für die tatkräftige Unterstützung in allen Belangen über die komplette Zeit hinweg. Danke Maren!

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Sebastian Schwanitz für die tatkräftige Hilfe beim Scannen und die gute Zusammenarbeit bedanken.

Danke an alle Mitarbeiter des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim, die mir beim Scannen der Schlachthälften geholfen haben.

Mein Dank gebührt auch Dr. Stefan Nüske, Christa Gurgui sowie Richard Bätz für die schöne gemeinsame Zeit am LVG.

Meinem Bürokollegen Dominik Blocksiepen, danke ich für die Bereitschaft „sein“ Büro mit mir zu teilen, aber vor allem für die schöne gemeinsame Zeit.

Meiner Familie danke ich für die Unterstützung während meiner gesamten Ausbildung. Danke, dass ihr es mir ermöglicht habt Tierarzt zu werden.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Kathi für die Geduld beim Erklären von Word Formatierungen und anderen Software Programmen, sowie für die liebevolle Unterstützung in allen Lebenslagen in den letzten Jahren.